



TESIS SF-142502

**FABRIKASI DIRECTIONAL COUPLER SEBAGAI PEMBAGI
DAYA DENGAN KONTROL TEGANGAN**

ALAN ANDRIAWAN
NRP 1114201021

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Yono Hadi Pramono, M. Eng.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN OPTOELEKTRONIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



THESIS SF-142502

**DIRECTIONAL COUPLER FABRICATION AS POWER
DIVIDER WITH VOLTAGE CONTROL**

ALAN ANDRIAWAN
NRP 1114201021

ADVISOR
Dr. Yono Hadi Pramono, M. Eng.

MAGISTER PROGRAM
STUDY ON OPTIC AND ELECTROMAGNETIC APPLICATION
PHYSICS DEPARTMENT
MATHEMATIC AND NATURAL SCIENCE FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M.Si)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
ALAN ANDRIAWAN
NRP. 1114201021

Tanggal Ujian : 22 Juni 2016
Periode Wisuda : September 2016

Disetujui Oleh :

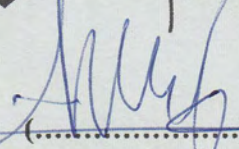
1. Dr. Yono Hadi Pramono, M. Eng.
NIP. 19690904 1992031003

(Pembimbing)



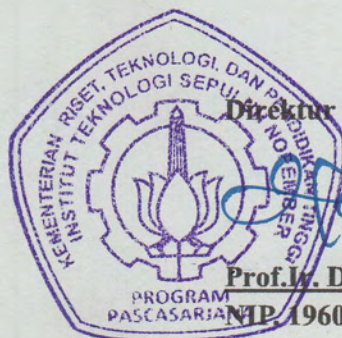
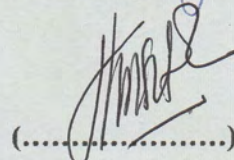
2. Prof. Mahmud Zaki, M.Sc.
NIP. -

(Penguji)



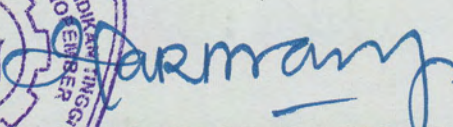
3. Dr. Melania Suweni Muntini, MT.
NIP. 19641229 1990022001

(Penguji)



Direktur Program Pascasarjana

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc. Ph.D.
NIP. 19601202 1987011001



PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini saya :

Nama : Alan Andriawan
Nrp. : 1114201021
Jurusan / Fak. : Fisika - FMIPA
Alamat kontak : Keputih Gang 1113 No. 48 / Beciro Rt 4 Rv 1 Becironggor
a. Email : alan.andriawan13@mhs.physics.itr.ac.id
b. Telp/HP : 085732732566

Menyatakan bahwa semua data yang saya *upload* di Digital Library ITS merupakan hasil final (revisi terakhir) dari karya ilmiah saya yang sudah disahkan oleh dosen penguji. Apabila dikemudian hari ditemukan ada ketidaksesuaian dengan kenyataan, maka saya bersedia menerima sanksi.

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non-Exclusive Royalti-Free Right)** kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Fabrikasi Directional Coupler Sebagai Pembagi Daya dengan Kontrol Tegangan


Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta. Saya bersedia menanggung secara pribadi, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya Ilmiah saya ini tanpa melibatkan pihak Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Surabaya

Pada tanggal : 27 Juli 2016

Yang menyatakan,


Alan Andriawan

Nrp. 1114201021

Dosen Pembimbing 1

D. Haryo Hadi Pramono, M.Eng.
NIP. 196909041992031003

KETERANGAN :

Tanda tangan pembimbing wajib dibubuhi stempel jurusan.

FABRIKASI *DIRECTIONAL COUPLER* SEBAGAI PEMBAGI DAYA DENGAN KONTROL TEGANGAN

Nama : Alan Andriawan
NRP : 1114201021
Dosen Pembimbing : Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.

ABSTRAK

Fabrikasi *directional coupler* sebagai pembagi daya telah dilakukan. *Directional coupler* hasil fabrikasi berstruktur slab dengan substrat berupa kaca akrilik, film berupa SnO₂ nano dan *cladding* berupa *methyl methacrylate (MMA)*. *Directional coupler* hasil fabrikasi memiliki panjang daerah interaksi (*Lc*) 5 mm, 10 mm dan 15 mm dengan gap (*g*) 0,353 mm. Penumbuhan film SnO₂ dilakukan dengan mendeposisikan larutan SnO₂ pada substrat akrilik. Pada saat yang sama, pada *directional coupler* ditanam sebuah fiber optik sebagai input pada saat karakterisasi. SnO₂ yang sudah terdeposisi pada kaca akrilik dilapisi *methyl methacrylate (MMA)* dengan metode *doctor blade*. *Directional coupler* hasil fabrikasi digunakan sebagai pembagi daya optis. *Directional coupler* hasil fabrikasi dikarakterisasi menggunakan laser *He-Ne* dengan panjang gelombang 632,8 nm. Karakterisasi dilakukan dengan mengambil foto penampang melintang *directional coupler* ketika diberi input sinar laser. Foto penampang melintang hasil karakterisasi *directional coupler* diolah dengan menggunakan software *ImageJ* untuk mengetahui distribusi intensitas *directional coupler* pada masing-masing port. Dari hasil karakterisasi tersebut didapatkan nilai persentase output *directional coupler* dengan *Lc* 5 mm sebesar 26 %, 24 % dan 49 %.

Kata kunci : *doctor blade*, *methyl methacrylate (MMA)*, SnO₂ nano.

DIRECTIONAL COUPLER FABRICATION AS POWER DIVIDER WITH VOLTAGE CONTROL

Name : Alan Andriawan
Student Identity Number : 1114201021
Advisor : Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.

ABSTRACT

Directional coupler fabrication as power divider has been conducted. Structure of directional coupler fabrication yields is slab structure with glass acrylic as substrate, SnO₂ nano as film and methyl methacrylate (MMA) as cladding. Directional coupler fabrication yield have interaction region (Lc) 5 mm, 10 mm and 15 mm with gap (g) 0,353 mm. The act of growing SnO₂ film conducted by deposition SnO₂ solution at glass acrylic substrate. At the same time, on the directional coupler planted an optical fiber as the input at characterization. The SnO₂ was deposited on glass acrylic substrate coated methyl methacrylate (MMA) with doctor blade method. Directional coupler fabrication yield used as optical power divider. Directional coupler fabrication yield characterized by used He-Ne laser with 632,8 nm wavelength. Characterization is conducted by take a picture of cross section of latitude directional coupler when laser beams input given. Cross section of latitude picture characterization yield processed by used ImageJ software in order to know intensity distribution directional coupler at each port. From characterization yield talked about established output percentage value directional coupler with Lc 5 mm in the amount of 26 %, 24 % and 49 %.

Keywords : *doctor blade, methyl methacrylate (MMA), SnO₂ nano.*

DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Lembar Pengesahan	i
Abstrak	iii
Abstract	v
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiii
Daftar Lampiran	xv

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Permasalahan	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

2.1 Analisis Pandu Gelombang Optik Slab	5
2.1.1 Penurunan Rumus Pandu Gelombang Optik	5
2.1.2 Solusi Umum untuk Modus TE	7
2.1.3 Kondisi Batas	9
2.1.4 Modus TM	14
2.2 Teori Moda Terkopel	15
2.3 Tin Dioxide (SnO_2)	18
2.4 <i>Methyl Methacrylate</i> (MMA)	20

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Peralatan dan Bahan	23
3.2 Diagram Alir Penelitian	23
3.3 Prosedur Kerja	26
3.3.1 Preparasi Substrat Kaca Akrilik	26
3.3.2 Pembuatan Larutan SnO_2	28
3.3.3 Fabrikasi Pandu Gelombang	29
3.3.4 Pengujian Transmittansi SnO_2	30
3.3.5 Pengukuran Masing-Masing Port	30
3.3.6 Pengukuran Masing-Masing Port dengan Variasi Tegangan	32

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Fabrikasi Directional Coupler	35
4.2 Transmittansi	37
4.3 Karakterisasi Pandu Gelombang Directional Coupler	38
4.3 Karakterisasi Pandu Gelombang Directional Coupler dengan Variasi Tegangan	42

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
Daftar Pustaka	49
Lampiran A	53
Lampiran B	59
BIOGRAFI PENULIS	xii

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komponen E_y pada moda ganjil dan genap TE	13
Tabel 2.2	Karakteristik SnO_2	19
Tabel 2.3	Karakteristik Methyl Methacrylate (MMA)	20
Tabel 4.1	Nilai Keluaran Tiap Port <i>Directional Coupler</i>	41
Tabel 4.2	Nilai Keluaran Tiap Port <i>Directional Coupler</i> Dengan Variasi Tegangan	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pandu gelombang optik slab	5
Gambar 2.2	Kondisi bidang batas	9
Gambar 2.3	Solusi moda TE pada pandu gelombang optik step	
	Indeks	11
Gambar 2.4	Kecenderungan umum medan E_y pada saat	
	mendekati <i>cut-off</i>	13
Gambar 2.5	Pandu gelombang optik gabungan	16
Gambar 2.6	Definisi β	18
Gambar 2.7	(a) Serbuk SnO ₂ (b) Stuktur Kristal SnO ₂	19
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 3.2	Diagram Alir Fabrikasi <i>Directional Coupler</i>	25
Gambar 3.3	Diagram Alir Preparasi larutan SnO ₂	26
Gambar 3.4	Desain akrilik	27
Gambar 3.5	Ultrasonic cleaner	28
Gambar 3.6	Genesys 10S Spectrophotometer UV-Vis	30
Gambar 3.7	Set Up Karakterisasi <i>directional coupler</i>	31
Gambar 3.8	Set Up Karakterisasi <i>directional coupler</i> dengan	
	variasi tegangan	32
Gambar 4.1	Gambar <i>directional coupler</i> hasil fabrikasi	35
Gambar 4.2	Hasil Uji Transmittansi SnO ₂	37
Gambar 4.3	Pandu Gelombang <i>Directional Coupler</i>	39
Gambar 4.4	Pandu Gelombang DC2 Dengan panjang gabungan	
	(<i>coupling length</i>) 10 mm Dengan Input B1	
	(a) Port A2 B2	39
	(b) Plot RGB Port A2 B2	39

(c) Port A1 B1	40
(d) Plot RGB Port A1 B1	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Output <i>directional coupler</i>	53
Lampiran B	Output <i>directional coupler</i> dengan variasi tegangan	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pandu gelombang planar merupakan komponen utama yang berperan sebagai pembangun rangkaian optik terintegrasi dan laser semikonduktor. Secara umum, pandu gelombang planar terdiri dari sebuah inti (*core*) berbentuk planar yang dikelilingi oleh sebuah *cladding* dengan indeks bias yang lebih rendah daripada indeks bias inti (Okamoto, 2006).

Semakin berkembangnya sistem komunikasi optik dan teknologi, *optical switching* dan array telah memainkan peran penting pada pengiriman informasi, *optical cross-connect* (OXC), *optical add-drop multiplexer* (OADM), dan perlindungan saluran optis (OLP), hal itu berkaitan dengan besarnya aplikasi mereka pada pemrosesan sinyal optis, komputasi optis, instrument optis, peralatan optis dan sensor (Zheng, 2008).

Proses pengiriman data dengan memanfaatkan sistem komunikasi optik yang memiliki lebar pita (*bandwidth*) sangat besar tidak akan berjalan maksimal jika tidak diikuti dengan penemuan-penemuan komponen optik yang memadai. Salah satu diantara komponen tersebut antara lain *directional coupler* yang dapat berfungsi sebagai komponen *optical switching*, *multiplexing*, *demultiplexing*, pemecah berkas (*splitter*) dan pembagi daya atau *power divider* (Farrel, 2002).

Eksperimen tentang pengembangan dan perancangan *directional coupler* telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya diantaranya adalah transmisi pada *directional coupler* Ti:LiNbO₃ 1×2 (Mieczyslaw, 1990), analisis *directional coupler zero gap* Ti:LiNbO₃ untuk *wavelength division multiplexer/demultiplexer* (Pranabendu, 2008), analisis karakteristik respon *electro-optic switch* untuk polimer *directional coupler* (Chuan, 2008), *directional coupler* berbasis kabel fotonik LiNbO₃ (Ming, 2013), polarisasi *splitter* TE/TM pada kabel fotonik LiNbO₃ (Ming, 2015) dan masih banyak

lagi eksperimen lanjutan terkait pengembangan dan perancangan *directional coupler*.

Oksida logam semikonduktor seperti tin oxide (SnO), zinc oxide (ZnO) dan indium oxide (InO) secara luas telah diteliti karena mereka menunjukkan sifat optis dan elektronik yang berguna (Uysal, 2015). SnO₂ merupakan sebuah semikonduktor non-stokiometri dengan energi gap $E_g \geq 3,6$ eV pada suhu ruangan dengan struktur tetragonal. Lapisan SnO₂ mempunyai karakteristik unik seperti transmitansi tinggi pada panjang gelombang tampak, resistivitas rendah, mempunyai stabilitas tinggi dibandingkan oksida konduktif transparan lainnya (TCOs). Lapisan SnO₂ digunakan secara luas pada aplikasi optoelektronika seperti pelapisan kaca film, fotokatalis, LED organik, sensor gas dan sel surya. Terdapat beberapa metode untuk menyiapkan lapisan tipis SnO₂, antara lain teknik cetakan, deposisi uap kimia, evaporasi reaktif, dc dan rf sputtering, ablasi pulsa laser, evaporasi termal, deposisi metal-organik, deposisi sol-gel dan spray pyrolysis (Rahal, 2015).

Penelitian dan pengembangan *directional coupler* pada paparan di atas tentunya membutuhkan peralatan laboratorium yang mendukung untuk fabrikasi maupun karakterisasi komponen *directional coupler* yang memadai serta membutuhkan dana yang tidak sedikit.

Dipihak lain, fabrikasi dan karakterisasi *directional coupler* berstruktur slab berbasis polimer *polystyrene* dan *polymethyl methacrylate* (PMMA) telah dilakukan dengan metode *spin coating*. *Directional coupler* yang dihasilkan bersifat multimode dengan panjang gabungan (*coupling*) 0,18 cm hasil pengukuran dan 20,84 μm hasil simulasi (Rinawati, 2009). Penelitian tersebut dilanjutkan dengan dilakukannya fabrikasi pandu gelombang TiO₂ nano *y-branch* dengan metode *lithography* sebagai *power divider* dan didapatkan nilai rugi daya untuk channel *y-branch* sebesar 43,4 % (Daniyati, 2015)

Berdasarkan hasil penelitian yang dijelaskan, sangat memungkinkan dilakukan eksperimen fabrikasi *directional coupler* struktur slab sebagai *power divider* dengan menggunakan film SnO₂ nano.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang permasalahan di atas, dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara fabrikasi *directional coupler* dengan menggunakan *core* SnO₂ nano menggunakan metode sol-gel serta *cladding* berupa *methyl methacrylate* (MMA) menggunakan metode *doctor blade* ?
2. Bagaimana cara mengkarakterisasi *directional coupler* sebagai pembagi daya ?

1.3 Batasan Permasalahan

Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan sebagai guide berupa SnO₂ nano.
2. Substrat yang digunakan berupa kaca akrilik dengan indeks bias 1,49, guide SnO₂ dengan indeks bias 2,006 dan *cladding* MMA berindeks bias 1,415.
3. Sumber input yang digunakan adalah laser *He-Ne* yang diinputkan pada *directional coupler* dengan menggunakan fiber optik *multimode*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah memabrikasi *directional coupler* berstruktur slab dari bahan SnO₂ dan memanfaatkan *directional coupler* hasil fabrikasi sebagai pembagi daya (*power divider*).

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini disamping dapat dimanfaatkan sebagai pembagi daya (*power divider*), juga dapat dimanfaatkan sebagai komponen *optical switching*, *multiplexing*, *demultiplexing* dan pemecah berkas (*splitter*).

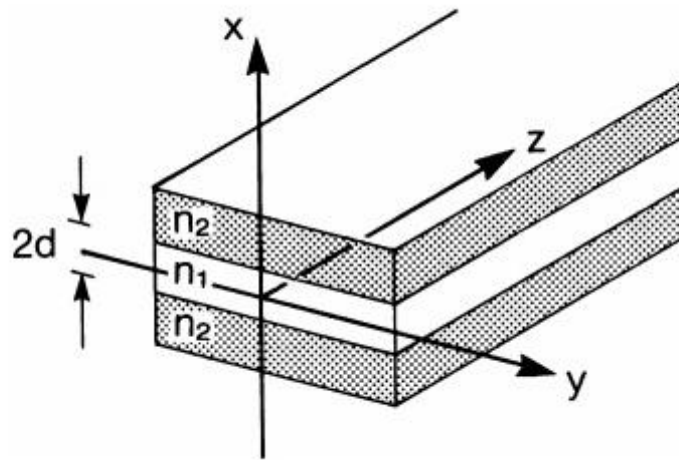
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Analisis Pandu Gelombang Optik Slab

Geometri slab merupakan salah satu susunan fundamental pada teknologi optika terpadu. Kita anggap terdapat penjalaran gelombang pada sebuah inti (*core*) dengan indeks bias n_1 , ketika inti (*core*) tersebut dilapisi dengan sebuah *cladding* dengan indeks bias n_2 seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.1. Ketika n_2 lebih kecil daripada n_1 , maka cahaya akan menjalar disepanjang inti (*core*) dengan lintasan zig-zag menurut pantulan dalam total (TIR) pada bidang perbatasan batas atas dan bawah. Pandu gelombang optik akan dianalisis menggunakan gelombang optik (Iizuka, 2008).



Gambar 2.1 Pandu gelombang optik slab

2.1.1 Penurunan Rumus Pandu Gelombang Optik

Perlakuan gelombang optik sedikit lebih sulit akan tetapi memberikan informasi yang akurat tentang pemanduan gelombang optik. Pertama, persamaan gelombang diturunkan dari persamaan Maxwell. Kita

anggap sebuah gelombang elektromagnetik menjalar pada arah sumbu z seperti

$$E' = E e^{j(\beta z - \omega t)}, H' = H e^{j(\beta z - \omega t)} \quad (2.1)$$

Dengan memasukkan persamaan diatas pada persamaan Maxwell maka didapatkan

$$\nabla \times H = -j\omega\epsilon_0\epsilon_r E, \nabla \times E = j\omega\mu H \quad (2.2)$$

Sebuah asumsi dibuat bahwa tidak ada komponen medan yang berubah pada arah sumbu y, atau dengan kata lain

$$\frac{\partial}{\partial y} = 0 \quad (2.3)$$

Medan diuraikan pada gelombang TE dan TM. Gelombang yang tidak terdiri dari medan listrik pada arah perambatannya dinamakan gelombang modulus TE, atau dengan kata lain

$$E_z = 0 \quad (2.4)$$

Dengan analogi yang sama, gelombang yang tidak terdiri dari medan magnet pada arah perambatannya dinamakan gelombang modulus TM atau dengan kata lain

$$H_z = 0 \quad (2.5)$$

Persamaan 2.3 sampai 2.5 secara signifikan menyederhanakan operasi curl dari persamaan 2.2. Dengan asumsi $E_z = 0$, persamaan 2.2 memberikan solusi untuk modulus TE sebagai berikut

$$\begin{aligned} E_x = 0, \quad E_y &= \frac{j}{\omega\epsilon_0\epsilon_r} \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \right), \quad E_z = 0 \\ H_x &= \frac{j}{\omega\mu} \frac{\partial E_y}{\partial z}, \quad H_y = 0, \quad H_z = \frac{-j}{\omega\mu} \frac{\partial E_y}{\partial x} \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} + n^2 k^2 \right) E_y = 0, \text{ dimana } \omega^2 \mu \epsilon_0 \epsilon_r = n^2 k^2, k = \omega \sqrt{\mu \epsilon_0}$$

Dengan cara yang sama, dengan asumsi $H_z = 0$, didapatkan solusi gelombang untuk modulus TM yaitu

$$\begin{aligned} E_x &= \frac{-j}{\omega\epsilon_0\epsilon_r} \left(\frac{\partial H_y}{\partial z} \right), \quad E_y = 0, \quad E_z = \frac{j}{\omega\epsilon_0\epsilon_r} \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} \right) \\ H_x &= 0, \quad H_y = \frac{j}{\omega\mu} \left(\frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} \right), \quad H_z = 0 \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} n^2 k^2 \right) H_y = 0$$

Ungkapan untuk modus TE dan TM berisi banyak persamaan. Pertama, solusi untuk modus TE dicari.

2.1.2 Solusi Umum untuk Modus TE

Seperti yang tertulis pada persamaan 2.6, satu bentuk E_y diketahui, maka semua komponen gelombang modus TE secara otomatis ditemukan. Sebuah titik awal yang bagus untuk menemukan ungkapan untuk E_y adalah persamaan diferensial dibawah persamaan 2.6. Dengan memanfaatkan kenyataan bahwa z masuk pada persamaan 2.1 sebagai fungsi eksponensial, persamaan diferensialnya menjadi

$$\frac{1}{E_y} \frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} + (n^2 k^2 - \beta^2) = 0 \quad (2.8)$$

Metode separasi variabel akan digunakan untuk menyelesaikan persamaan 2.8 untuk E_y . Karena bentuk kedua pada persamaan 2.8 konstan, bentuk pertama juga harus konstan. Selama nilai konstan terkait, tanpa memperhatikan apakah sebuah bilangan positif atau sebuah bilangan negatif diambil, persamaan 2.8 harus bernilai benar, tetapi solusinya berbeda tergantung pada yang mana yang dipilih. Solusinya bisa berupa baik trigonometri atau eksponensial. Pertama kita ambil sebuah bilangan negatif $-K^2$ sebagai nilai pada bentuk pertama. Agar persamaan 2.8 menjadi benar, maka bentuk kedua harus berupa K^2 yang dinamakan

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} + K^2 E_y = 0 \quad (2.9)$$

dengan

$$K^2 = n^2 k^2 - \beta^2 \quad (2.10)$$

solusi persamaan 2.9 adalah

$$E_y = A \cos Kx + B \sin Kx \quad (2.11)$$

Kemudian, mari kita ambil sebuah bilangan positif γ^2 sebagai nilai pada bentuk pertama pada persamaan 2.8, maka

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} - \gamma^2 E_y = 0 \quad (2.12)$$

dengan

$$\gamma^2 = \beta^2 - n^2 k^2 \quad (2.13)$$

Solusi persamaan 2.12 berupa

$$E_y = C e^{-\gamma x} + D e^{\gamma x} \quad (2.14)$$

Kedua persamaan 2.11 dan 2.14 adalah identik sebagai solusi dari persamaan 2.8. Pada kenyataannya penjumlahan persamaan 2.11 dan 2.14 juga merupakan sebuah solusi. Pemilihan solusi tergantung pada satu solusi yang sesuai dengan fenomena fisis terbaik.

Untuk kasus pandu gelombang optik slab, persamaan 2.11 ditugaskan sebagai solusi pada inti (*core*) karena beresilasi secara alami dan persamaan 2.14 ditugaskan sebagai solusi pada *cladding* karena meluruh secara alami sangat cocok untuk merepresentasikan gelombang pada kaca *cladding*. Dengan susunan solusi ini, persamaan 2.10 dan 2.13 menjadi

$$K^2 = n_1^2 k^2 - \beta^2 \quad (2.15)$$

$$\gamma^2 = \beta^2 - n_2^2 k^2 \quad (2.16)$$

Catat bahwa n_1 harus digunakan pada persamaan 2.15 dimana n_2 muncul pada persamaan 2.16.

Untuk kepentingan penyederhanaan, dua bentuk pada persamaan 2.11 diperlakukan secara terpisah dan ditambahkan kemudian. Seperti

$$E_y = A \cos Kx \quad (2.17)$$

$$E_y = B \sin Kx \quad (2.18)$$

Solusi dengan bentuk persamaan 2.17 disebut modulus genap dan solusi dengan bentuk persamaan 2.18 disebut modulus ganjil, karena $\cos Kx$ adalah fungsi genap terhadap x dan $\sin Kx$ adalah sebuah fungsi ganjil. Pada kenyataannya, pada pandu gelombang optik slab dapat dibangkitkan baik dengan modulus genap saja, atau modulus ganjil saja, atau kombinasi dua-duanya. Perbandingan A dan B ditentukan oleh tipe gelombang yang datang pada pandu gelombang optis. Jika distribusi medan pada gelombang yang datang simetri dengan pusat bidang slab, maka hanya modulus genap saja yang dibangkitkan. Jika distribusi pada

2.1.3 Kondisi Batas

The diagram illustrates a rectangular waveguide with a central core and cladding regions. The core is bounded by $x = d$ and $x = -d$. The cladding regions are labeled "cladding". The four boundary layers are indicated by arrows pointing to the top, bottom, left, and right surfaces of the core. The fields at infinity are indicated by arrows pointing to the top and bottom surfaces of the cladding. The fields at infinity are labeled $E_{t1} = E_{t2}$ and $H_{t1} = H_{t2}$. The fields at the boundaries are labeled E_{t1} , E_{t2} , H_{t1} , and H_{t2} .

Pertama, batas pada $x = +\infty$ dipertimbangkan. Maka untuk menghindari persamaan 2.14 tumbuh sampai tak hingga untuk nilai x yang besar, D harus bernilai nol pada daerah $x > d$ dan oleh karena itu

Di sisi lain, pada daerah *cladding* bagian bawah, C harus disamakan dengan nol untuk alasan yang sama.

9

Kondisi syarat batas pada $x = d$ sekarang dipertimbangkan. Komponen tangensial pada kedua medan E dan H harus kontinu melewati batas. Kontinuitas E_y diatur dengan menggunakan persamaan 2.17 dan 2.19

$$A \cos Kd = C e^{-\gamma d} \quad (2.21)$$

Kontinuitas H_z diatur dengan menemani formula untuk H_z pada persamaan 2.6 dengan 2.17 dan 2.19

$$KA \sin Kd = C \gamma e^{-\gamma d} \quad (2.22)$$

Rasio persamaan 2.21 pada 2.22 memberikan

$$\gamma d = Kd \tan Kd \quad (2.23)$$

Persamaan 2.23 dinamakan persamaan karakteristik pada pandu gelombang optik.

Kemudian, nilai dari γd dan Kd akan ditentukan. Salah satu persamaan yang diperlukan disamping persamaan 2.23. Persamaan ini dapat ditentukan dari persamaan 2.15 dan 2.16

$$V^2 = (Kd)^2 + (\gamma d)^2 \quad (2.24)$$

Dimana

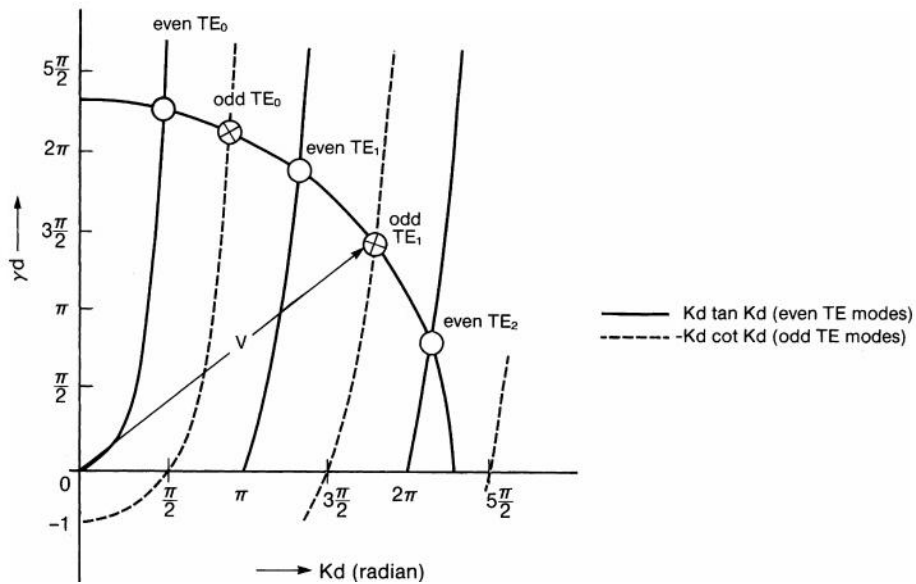
$$V = kd \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.25)$$

Parameter V adalah sebuah fungsi pada konstanta fisis seperti ketebalan pandu gelombang optik slab, panjang gelombang cahaya dan indeks bias pada *core* dan *cladding* dan parameter tersebut beberapa waktu disebut ketebalan pandu gelombang yang ternormalisasi. Sehingga untuk menyelesaikan persamaan secara simultan pada persamaan 2.23 dan 2.24, γd diplot pada sumbu vertikal dan Kd pada sumbu horizontal seperti pada Gambar 2.3. Kurva pada persamaan 2.24 adalah lingkaran dengan jari-jari V , dan bahwa pada persamaan 2.23 mempunyai bentuk yang sama dengan $\tan Kd$. Kedua kurva ini diperlihatkan dengan garis lurus pada Gambar 2.3. Posisi perpotongan pada dua kurva ditentukan dengan nilai V . Pada contoh ini, terdapat tiga buah perpotongan. Setiap perpotongan berhubungan pada satu moda. Dimulai dari perpotongan yang paling dekat dengan titik asal mereka dinamakan moda TE_0 genap, moda TE_1 genap

dan moda TE_2 genap dan seterusnya. Pada contoh ini, energi cahaya menjalar pada tiga moda berbeda dengan konstanta propagasi yang berbeda. Tiga moda apa saja dapat tereksitasi pada pandu gelombang ini, tergantung pada konfigurasi eksitasi. Hubungan konstanta propagasinya adalah

$$\beta_N = \sqrt{(n_1 k)^2 - K_N^2} \quad (2.26)$$

Dimana K_N dinotasikan nilai diskrit pada K yang ditentukan oleh titik perpotongan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Solusi moda TE pada pandu gelombang optik step indeks

Kemudian, distribusi amplitudo E_y dipertimbangkan. Moda genap TE_0 dipertimbangkan pertama. Karena nilai dari Kd pada moda genap TE_0 sedikit lebih kecil daripada $\frac{\pi}{2}$, misalkan nilai Kd direpresentasikan sebagai $(\frac{\pi}{2} - \Delta)$. Dari persamaan 2.17, amplitudo E_y didalam *core* berbentuk

$$E_y = A \cos\left(\frac{\pi - \Delta}{d}\right) x \quad (2.27)$$

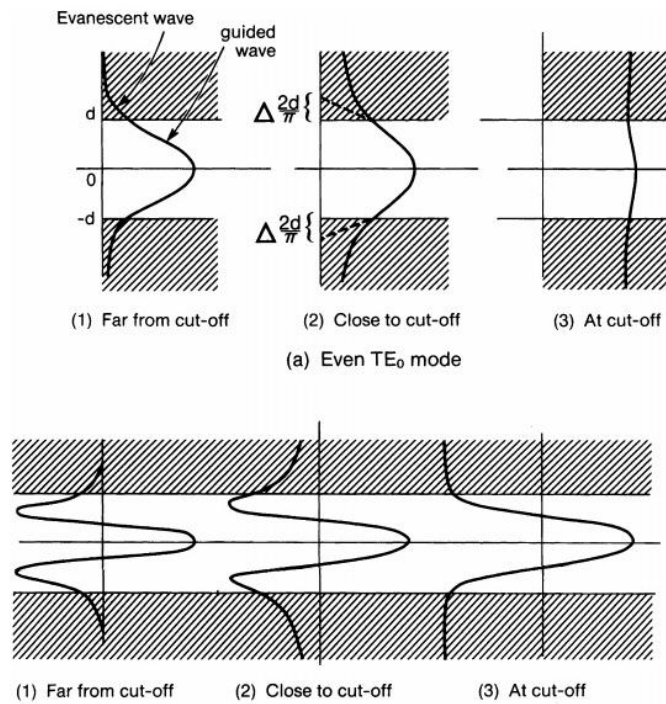
Kurva untuk persamaan ini diperlihatkan pada Gambar 2.4.a. Kurva tersebut berupa kurva cosinus didalam kaca *core*. Didalam kaca *cladding* besar E_y sangat kecil, tetapi selama Δ bernilai tidak nol, E_y juga

tidak bernilai nol, dan cahaya menembus pada kaca *cladding*. Karena medan ini meluruh secara eksponensial dengan x seperti yang terlihat pada persamaan 2.19, peluruhan medan ini dekat dengan batas yang dinamakan gelombang *evanescent*.

Ketika distribusi intensitas $|E_y(x)|^2$ diamati dari ujung pandu gelombang, moda genap TE_0 menampilkan satu bintik terang di tengah, dan moda genap TE_1 menampilkan tiga bintik terang seperti yang terdapat pada Gambar 2.4.b. Secara umum, moda genap TE_n menampilkan $2n + 1$ bintik terang.

Dengan semakin berkurangnya nilai γ , penembusan cahaya pada *cladding* bertambah. Ketika $\gamma = 0$ cahaya pada saat ini melewati *cladding*. Ini dapat diinterpretasikan sebagai jika semua cahaya bocor pada kaca *cladding*, dimana berhubungan dengan kondisi *cut-off* pada pandu gelombang. Berbicara pada contoh pada Gambar 2.3, jika nilai V berkurang dari 2π radians, moda genap TE_2 akan pergi pada kondisi *cut-off*. Dengan cara yang sama, kondisi *cut-off* pada moda genap TE_n terjadi ketika nilai $V = n\pi$ radian.

Kondisi *cut-off* pada moda genap TE_0 sangat spesial. Kondisi ini tidak terjadi sampai nilai $V = 0$ dan untuk area $0 < V < \frac{\pi}{2}$ hanya moda genap TE_0 yang tereksitasi. Moda yang mampu menjadi satu-satunya moda yang tereksitasi dinamakan moda dominan.



Gambar 2.4 a,b Kecenderungan umum medan E_y pada saat mendekati *cut-off*

(a) Moda genap TE_0 (b) Moda genap TE_1

Tabel 2.1 Komponen E_y pada moda ganjil dan genap TE

Moda TE genap	Moda TE ganjil	
$E_y = A \cos Kd e^{-\gamma(x-d)}$	$E_y = A \sin Kd e^{-\gamma(x-d)}$	di <i>cladding</i> atas
$E_y = A \cos Kx$	$E_y = A \sin Kx$	di <i>core</i>
$E_y = A \cos Kd e^{\gamma(x+d)}$	$E_y = A \sin Kd e^{\gamma(x+d)}$	di <i>cladding</i> bawah

Moda genap TE_0 adalah dominan mode pada pandu gelombang optik. Moda genap TE_1 tidak dapat menjadi dominan mode, karena kapanpun moda genap TE_1 tereksitasi, moda genap TE_0 dapat tereksitasi pada waktu yang sama. Oleh karena itu moda genap TE_1 tidak dapat tereksitasi sendiri, dan ini juga benar dengan semua orde moda yang lebih tinggi.

Kemudian, moda ganjil TE dipertimbangkan. Pendekatannya sama dengan moda genap TE . Untuk memulainya, kontinuitas pada $x = d$

dipertimbangkan. Kontinuitas E_y diaplikasikan pada persamaan 2.18 dan 2.19 dan didapatkan

$$A \sin KD = C e^{-\gamma d} \quad (2.28)$$

Dengan cara yang sama, kontinuitas H_z yang didapatkan dengan menggunakan persamaan 2.6 memberikan

$$KA \cos KD = -C e^{-\gamma d} \quad (2.29)$$

Rasio persamaan 2.27 dan persamaan 2.28 memberikan

$$\gamma d = -Kd \cot Kd \quad (2.30)$$

Dimana persamaan diatas merupakan persamaan karakteristik pada moda ganjil TE . Persamaan karakteristik ini diplot pada Gambar 2.3 dengan garis putus-putus. Garis-garis ini hampir sejajar pada moda genap TE , dan terjalin dengan moda genap TE . Satu harus dipertimbangkan baik moda genap dan ganjil untuk menghitung semua moda TE . Jarak antara kurva-kurva diperkirakan $\frac{\pi}{2}$.

Solusi E_y untuk moda TE ganjil dan genap dirangkum pada Tabel 2.1. Semua komponen lain pada moda TE pada masing-masing area ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.6.

2.1.4 Modus TM

Prosedur yang secara sama seperti untuk modus TE dapat diaplikasikan untuk modus TM . Hasilnya akan dirangkum disini. Ekspresi untuk H_y secara persis sama seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 dengan mengganti E_y dengan H_y . Komponen lain untuk modus TM ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.7.

Persamaan karakteristik, bagaimanapun sedikit berbeda dari modus TE tersebut. Persamaan karakteristik untuk modus genap TM yaitu

$$\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 kd \tan Kd = \gamma d \quad (2.31)$$

Dan untuk modus ganjil TM adalah

$$-\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 kd \tan Kd = \gamma d \quad (2.32)$$

Jika persamaan karakteristik diplot pada Gambar 2.3, bersama dengan modulus TE tersebut, kurva karakteristik pada modulus TM mengikuti modulus TE tersebut tetapi sedikit dibawah kurva karakteristik modulus TE . Pada prakteknya, n_2 berbeda n_1 hanya dengan sebuah perbedaan satu persen dan dua bentuk kurva sangat berdekatan satu sama lain.

2.2 Teori Moda Terkopel

Persamaan moda terkopel berguna untuk meneliti komponen seperti directional coupler, pemindah cahaya, modulator cahaya dan filter panjang gelombang. Persamaan tersebut secara luas juga digunakan dimana persamaan moda terkopel bermanfaat untuk mendeskripsikan rincian beberapa komponen disini.

Dengan memperhatikan Gambar 2.5, kita anggap terdapat sebuah gabungan yang terletak antara dua garis sejajar. Setiap garis terletak pada area gelombang evanescent garis yang lain, dan keduanya dengan bebas bergabung pada masing-masing lainnya. Gelombang elektromagnetik menjalar sepanjang pandu gelombang 1 tanpa menjalar pada pandu gelombang 2 yang dinyatakan dengan

$$E_1 = A \exp[j(\beta_1^0 z - \omega t)] \quad (2.33)$$

dan memenuhi persamaan diferensial

$$\frac{dE_1}{dz} = j\beta_1^0 E_1 \quad (2.34)$$

Ketika pandu gelombang 2 dimasukkan pada sekitar pandu gelombang 1, maka dua peristiwa akan terjadi. Pertama, konstanta propagasi berubah karena perubahan geometri. Kedua, terdapat petukaran daya antara dua garis karena setiap garis terletak pada area gelombang evanescent pandu gelombang lain. Maka persamaan diferensial gabungan menjadi

$$\frac{dE_1}{dz} = j\beta_1 E_1 + k_{12} E_2, \quad \frac{dE_2}{dz} = j\beta_2 E_2 + k_{21} E_1, \quad \text{dimana} \quad (2.35)$$

$$\beta_1 = \beta_1^0 - k_{11}, \quad \beta_2 = \beta_2^0 - k_{22} \quad (2.36)$$

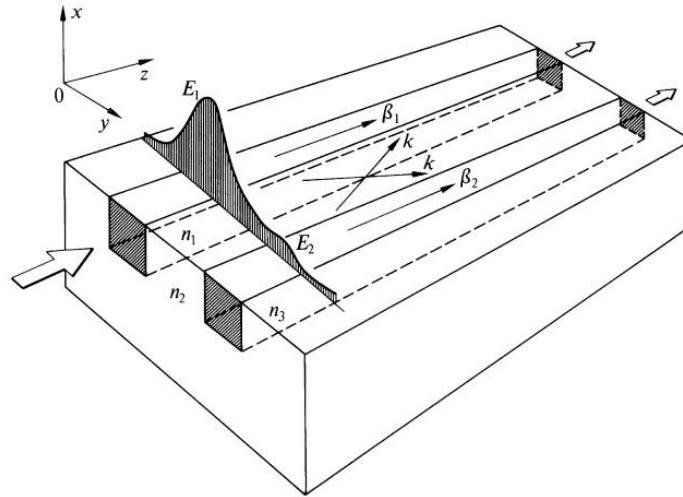
dan dimana β_1^0 dan β_2^0 adalah konstanta propagasi pada kasus terisolasi untuk masing-masing pandu gelombang 1 dan pandu gelombang 2; k_{11} dan k_{22} merupakan perubahan konstanta propagasi pada masing-masing pandu

gelombang 1 dan pandu gelombang 2, ketika sebuah pandu gelombang berdekatan diperkenalkan; dan k_{12} dan k_{21} merupakan koefisien yang berhubungan dengan transfer energi dari masing-masing pandu gelombang 2 ke pandu gelombang 1 dan dari pandu gelombang 1 ke pandu gelombang 2.

Dasar teori moda terkopel berada pada solusi persamaan diferensial. Diasumsikan solusinya berbentuk

$$E_1 = Ae^{\gamma z}, \quad E_2 = Be^{\gamma z} \quad (2.37)$$

Untuk menentukan nilai γ , maka persamaan 2.37 dimasukkan ke persamaan 2.35 untuk mendapatkan



Gambar 2.5 Pandu gelombang optik gabungan

$$\begin{bmatrix} (\gamma - j\beta_1) & -k_{12} \\ -k_{21} & (\gamma - j\beta_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = 0 \quad (2.38)$$

Kondisi dimana solusi non-trivial untuk A dan B ada mensyaratkan bahwa nilai dari determinannya harus nol. Kondisi ini menuju pada

$$\gamma_{1,2} = j \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \pm \sqrt{k_{12}k_{21} - \left(\frac{\beta_1 - \beta_2}{2} \right)^2} \quad (2.39)$$

Maka, solusi umum untuk E_1 dan E_2 yaitu

$$E_1 = A_1 e^{\gamma_1 z} + A_2 e^{\gamma_2 z} \quad (2.40)$$

$$E_2 = \frac{1}{k_{12}} [A_1 (\gamma_1 - j\beta_1) e^{\gamma_1 z} + A_2 (\gamma_2 - j\beta_1) e^{\gamma_2 z}] \quad (2.41)$$

Dimana persamaan 2.41 ditentukan dengan memasukkan persamaan 2.40 ke persamaan 2.35.

Kemudian, nilai dari k_{12} dan k_{21} diselidiki secara erat. Jika satu pandu gelombang dapat memaksakan kondisi dimana energi yang bocor keluar pandu gelombang dapat bergabung (coupled) secara sempurna pada garis yang dekat tanpa adanya loss, penjumlahan W pada energi dua pandu gelombang tidak berubah sepanjang garis tersebut, dengan demikian maka

$$\frac{dW}{dz} = 0 \quad \text{dimana} \quad (2.42)$$

$$W = (E_1 E_1^* + E_2 E_2^*) \quad (2.43)$$

Ini menuntun pada

$$\frac{dW}{dz} = (E_1' E_1^* + E_1 E_1^{*'} + E_2' E_2^* + E_2 E_2^{*'}) \quad (2.44)$$

Dengan menggunakan persamaan 2.35 dan membalik urutan kompleks konjugate dan turunan, maka didapatkan

$$\text{Re}\{(k_{12} + k_{21}^*) E_1^* E_2\} = 0 \quad (2.45)$$

Persamaan 2.45 bernilai benar untuk setiap nilai E_1 dan E_2 ,

$$k_{12} = -k_{21}^* \quad (2.46)$$

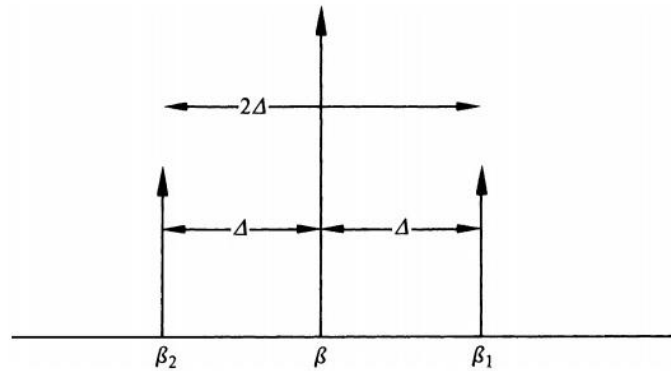
Harus memenuhi. Ini merupakan kondisi gabungan (coupling). Ketika persamaan 2.39 ditulis dengan persamaan 2.46 maka didapatkan

$$\gamma_{1,2} = j(\beta \pm \beta_b) \quad \text{dimana} \quad (2.47)$$

$$\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}, \quad \Delta\beta = \frac{\beta_1 - \beta_2}{2}, \quad \Delta\beta \equiv \Delta \quad (2.48)$$

$$\beta_1 = \beta + \Delta, \quad \beta_2 = \beta - \Delta, \quad \beta_b = \sqrt{|k_{12}|^2 + \Delta^2}$$

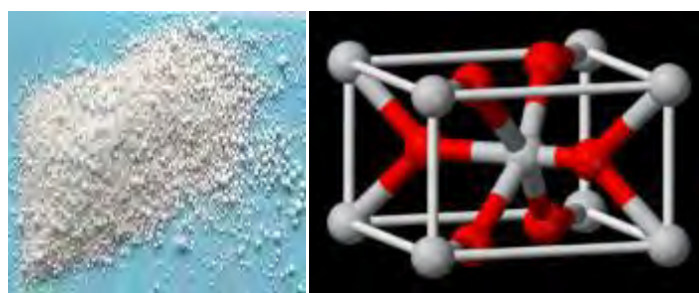
Gambar 2.6 mengindikasikan hubungan antara β_1 , β_2 dan β . Simbol $\Delta\beta$ dan Δ digunakan secara setara. Sekarang segala sesuatu kecuali konstanta A_1 dan A_2 telah ditemukan. A_1 dan A_2 ditentukan oleh kondisi eksitasi.



Gambar 2.6 Definisi β

2.3 Tin Dioxide (SnO_2)

Oksida logam semikonduktor seperti tin oxide (SnO), zinc oxide (ZnO) dan indium oxide (InO) secara luas telah diteliti karena mereka menunjukkan sifat optis dan elektronik yang bermanfaat (Uysal, 2015). Tin dioxide (SnO_2) merupakan semikonduktor non-stokiometri dengan celah energi yang lebar ($E_g \geq 3.6 \text{ eV}$) pada temperatur ruangan dengan struktur tetragonal. Lapisan tipis SnO_2 mempunyai karakteristik yang unik yaitu mempunyai transmitansi tinggi pada area panjang gelombang tampak, resistivitas rendah, mempunyai stabilitas kimia dan termal yang tinggi dibandingkan kaca konduktif transparan lainnya (TCO_s). Lapisan tipis SnO_2 digunakan secara luas pada aplikasi optoelektronika seperti pelapisan kaca film, fotokatalis, *LED* organik, sensor gas dan solar cell. Terdapat beberapa metode untuk mempersiapkan lapisan tipis SnO_2 . Diantaranya teknik cetakan layar (sablon), deposisi uap kimia, evaporasi reaktif, sputtering dc dan rf, ablasi pulsa laser, evaporasi termal, evaporasi berkas elektron, deposisi metal-organic, deposisi sol-gel dan spray pyrolysis (Rahal, 2015).



(a)

(b)

Gambar 2.7 (a) Serbuk SnO_2 (b) Stuktur Kristal SnO_2 (Sumber : wikipedia.org)

Diantara beberapa metode diatas, metode deposisi sol-gel merupakan metode yang paling menjanjikan karena metode tersebut relatif sederhana dan memungkinkan dilakukannya kontrol pada properti lapisan tipis SnO_2 . Oleh karena itu pada penelitian ini, lapisan SnO_2 dipersiapkan dengan metode deposisi sol-gel (*sol-gel deposition*). Tin oxide (SnO_x) secara umum mempunyai keadaan dua oksidasi yaitu divalent (*tin (II)oxide – SnO*) dan tetravalent (*tin (IV)oxide – SnO_2*) dan masing-masing termasuk semikonduktor tipe-p dan semikonduktor tipe-n. Bagaimanapun, preparasi larutan untuk fabrikasi SnO_2 bersifat kritis karena sifat divalent pada material ini dapat secara mudah terdegradasi pada keadaan tetravalent karena peristiwa oksidasi selama preparasi (Marikkannan, 2015). Serbuk dan struktur kristal material SnO_2 diperlihatkan pada Gambar 2.7. Adapun karakteristik bahan SnO_2 disajikan pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Karakteristik SnO_2 (Sumber : wikipedia.org)

Properties	
Nama IUPAC	Tin (IV) Oxide
Molekul Formula	SnO_2
Molar massa	$150,71 \text{ g mol}^{-1}$
Tampilan	Serbuk berwarna putih atau abu-abu terang

Densitas	6,95 g/cm ³ (20 °C) 6,85 g/cm ³ (24 °C)
Titik leleh	1.630 °C (2.970 °F; 1.900 K)
Titik Didih	1.800– 1900 °C (2.070 – 2.170 K)
Sucsepsibilitas magnetik (χ)	-4,1 x 10 ⁻⁵ cm ³ /mol
Indeks Bias	n _α 2,006 n _β 2,097

2.4 Methyl Methacrylate (MMA)

Methyl methacrylate (MMA) adalah monomer untuk skala besar pembuatan *polymethyl methacrylate* (PMMA) yang merupakan bahan polimer sejenis plastik. *Methyl methacrylate* (MMA) merupakan bahan yang transparan yang dapat mentransmisikan panjang gelombang tampak (*visible*), absorpsi ultravioletnya kecil sampai panjang gelombang 260 nm. Secara umum PMMA sendiri memiliki karakteristik-karakteristik seperti pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Karakteristik Methyl Methacrylate (MMA)

Sifat	
Molekul Formula	C ₅ H ₈ O ₂
Molar masa	100,12 g mol ⁻¹
Tampilan	Cairan tidak berwarna
Densitas	0,94 g/cm ³
Titik leleh	-48 °C (-54 °F; 225 K)
Titik didih	101 °C (214 °F; 374 K)
Kelarutan dalam air	1,5 g/100 ml
Viskositas	0,6 cP pada 20 °C

(Sumber : wikipedia.org)

Dengan sifat-sifat tersebut, maka bahan ini merupakan salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai bahan pandu gelombang (Rinawati, 2009). Pada keadaan larutan, *methyl methacrylate* (MMA) memiliki indeks bias 1,48904 dan setelah diberi perlakuan panas akan terjadi kenaikan indeks bias yang bervariasi. Nilai indeks bias MMA yang mengalami proses polimerisasi menjadi PMMA menggunakan perlakuan panas masing-masing 1,4914 adalah pada suhu 70 °C, 1,4910 pada suhu 80 °C dan 1,4914 pada suhu 90 °C (Tanio & Nakanishi, 2006)

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Peralatan dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian fabrikasi *directional coupler* ini adalah sebagai berikut :

- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1. Alumunium Foil | 8. Fiber Optik |
| 2. Cawan Petri | 9. Laser <i>He-Ne</i> |
| 3. Substrat Akrilik | 10. Laser dioda |
| 4. Pipet Tetes | 11. Personal Computer |
| 5. Magnetik <i>Stirer & Hotplate</i> | 12. <i>Spectrophotometer UV-VIS</i> |
| 6. Magnetik Bar | 13. Gelas Beker |
| 7. Neraca Digital | |

Bahan yang digunakan untuk fabrikasi *directional coupler* dalam penelitian ini antara lain :

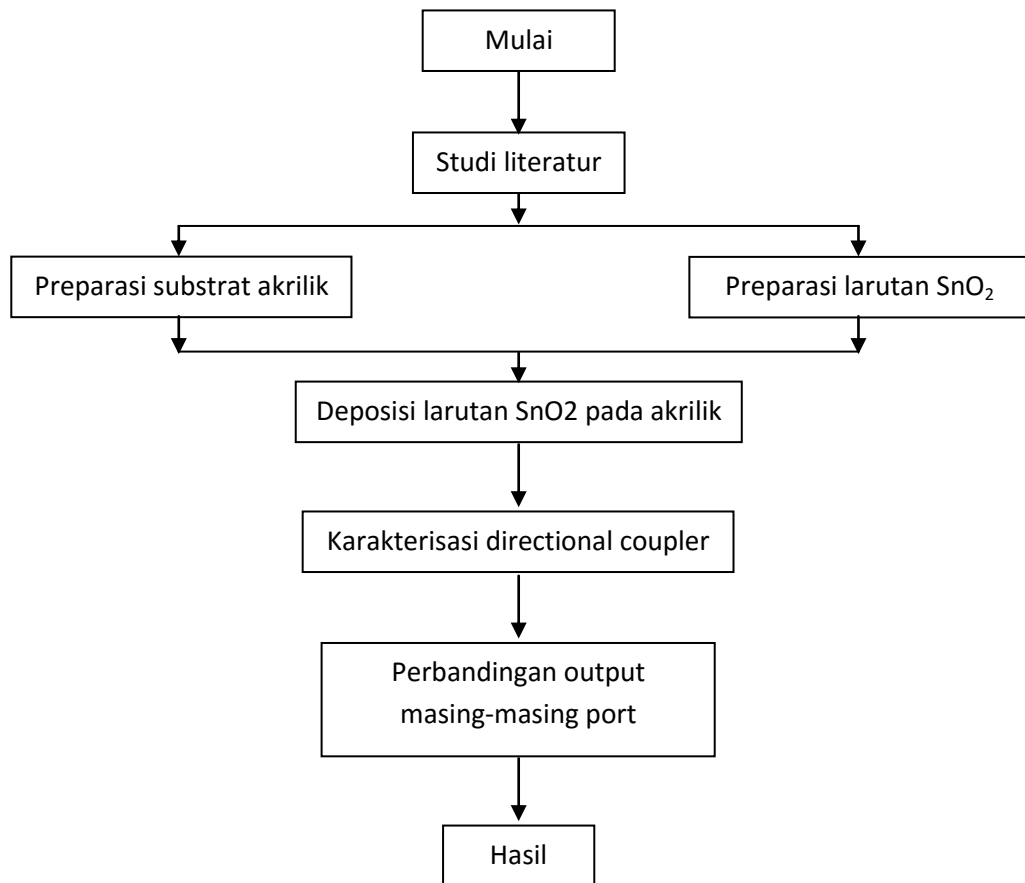
- | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| 1. Aquades | 4. Alkkohol 96 % |
| 2. Serbuk SnO ₂ nano | 5. Larutan Isopropanol |
| 3. MMA (<i>Methyl Methacrylate</i>) | 6. Serbuk <i>Ethyl Cellulose</i> |

3.2 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah utama dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

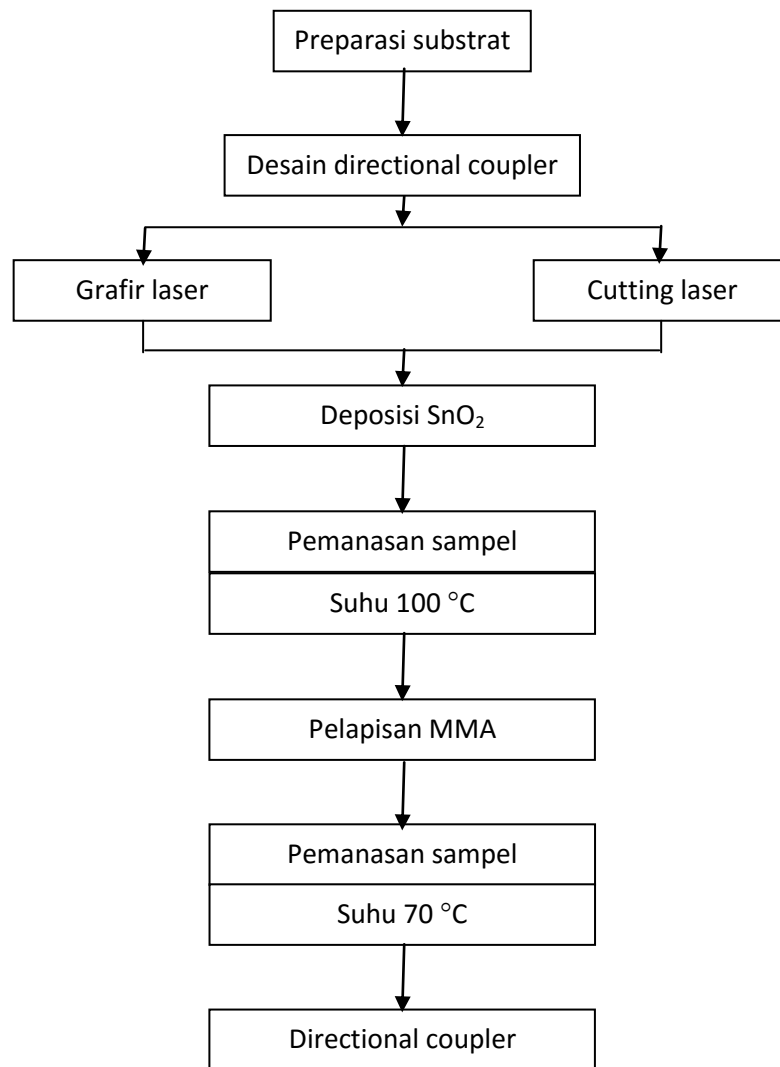
1. Preparasi substrat akrilik
2. Pembuatan larutan SnO₂
3. Fabrikasi pandu gelombang *directional coupler* dengan film SnO₂ dan cover MMA
4. Pengukuran output pada masing-masing port pandu gelombang.
5. Pengukuran output pada masing-masing port pandu gelombang dengan variasi tegangan.

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap sesuai dengan diagram alir penelitian pada Gambar 3.1



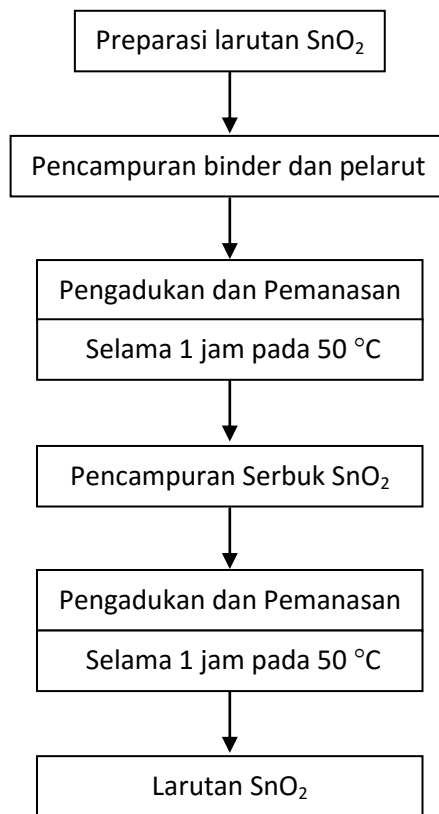
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Adapun tahap-tahap preparasi substrat dapat dilihat pada diagram alir preparasi substrat seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Diagram alir fabrikasi *directional coupler*

Adapun tahap-tahap preparasi larutan SnO₂ dapat dilihat pada diagram alir preparasi larutan SnO₂ seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Diagram alir preparasi larutan SnO₂

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Preparasi Substrat Kaca Akrilik

Tahap persiapan meliputi pembuatan substrat yaitu pemotongan akrilik dengan ketebalan 2 mm dengan ukuran sesuai desain. Ukuran dan pola pandu gelombang yang akan difabrikasi didesain dengan menggunakan software *coreldraw*. Pemotongan akrilik dilakukan dengan menggunakan pemotong laser (*laser cutting*). Hal tersebut bertujuan agar bagian tepi akrilik terlihat lebih rapi.

Pola dari setiap pandu gelombang yang akan difabrikasi dibentuk melalui proses grafir (*laser engraving*). Proses ini mirip dengan pemotong laser, hanya saja daya yang digunakan pada proses grafir tidak sebesar pada saat pemotongan, sehingga substrat yang digrafir tidak sampai

terpotong. Adapun desain akrilik yang akan digunakan disajikan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Desain akrilik

Pola pandu gelombang *directional coupler* dibentuk melalui grafir laser dan *cutting laser*. Untuk *directional coupler*, diperlukan dua lapis akrilik dengan rincian bagian bawah untuk akrilik yang digrafir dan bagian atas untuk akrilik yang dipotong.

Desain *directional coupler* diatas digunakan sebagai *channel* pandu gelombang bagian bawah. Sedangkan untuk *channel* pandu gelombang bagian atas, digunakan desain akrilik yang sama akan tetapi tidak melalui proses grafir. *Channel* pandu gelombang bagian atas dibuat dengan memotong akrilik yang telah didesain sebelumnya dengan pemotong laser. Hasil potongan pola akrilik tersebut selanjutnya ditempelkan di bagian atas akrilik yang digrafir dengan lem.

Dua buah akrilik yang telah ditempel kemudian dihaluskan pada bagian-bagian tepi bekas potongan dengan menggunakan kertas ampelas pada tingkat kehalusan 180, 360, 600, 1200 dan 5000 mess. Proses penghalusan dilakukan sampai bagian akrilik yang dipotong terlihat rata dan halus. Setelah bagian tepi akrilik halus, akrilik dibersihkan dengan menggunakan air sabun dan selanjutnya dicuci menggunakan aquades kemudian dikeringkan.

Selanjutnya akrilik dimasukkan pada gelas beker yang telah berisi alkohol 96 % sebanyak 100 ml kemudian dibersihkan menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 60 menit seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.5. Setelah 60 menit akrilik dikeringkan menggunakan *drayer*. Pembersihan substrat akrilik bertujuan agar akrilik terbebas dari material-material yang tidak mampu dibersihkan dengan air saja. Bersih tidaknya substrat akrilik mempengaruhi hasil pengujian dari sampel yang akan dilapiskan.



Gambar 3.5 *Ultrasonic cleaner*

3.3.2 Pembuatan Larutan SnO_2

Pembuatan larutan SnO_2 dilakukan dengan melakukan pencampuran antara pelarut dan binder SnO_2 , dimana *ethyl cellulose* ($[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_{3-x}(\text{OC}_2\text{H}_5)_x]_n$) berperan sebagai binder dan isopropanol $(\text{CH}_3)_2\text{CH}(\text{OH})$ sebagai pelarut dari SnO_2 (Uysal dan Arier, 2015). Pembuatan larutan ini dilakukan dengan melarutkan 0,13 gr *ethyl cellulose* dan 3 ml isopropanol. Kemudian dilakukan proses pengadukan menggunakan magnetik *stirrer hotplate* selama 1 jam dengan suhu pemanasan 50°C . Lamanya waktu pengadukan bertujuan agar *binder* dan pelarut tercampur sempurna tanpa ada gumpalan-gumpalan kecil pada larutan yang dibuat. Pemberian suhu pemanasan dilakukan agar larutan

lebih mudah tercampur, dengan catatan suhu yang digunakan dibawah titik lebur dari *ethyl cellulose* (160 °C-210 °C) dan isopropanol (82,2 °C).

Setelah pembuatan larutan dari pencampuran antara pelarut dan binder SnO₂ tercampur sempurna, untuk selanjutnya ditambahkan serbuk SnO₂ nano 0,25 gram. Kemudian dilakukan pengadukan selama 1 jam dengan suhu pemanasan 50 °C menggunakan magnetik *stirrer hotplate*. Lamanya waktu pengadukan bertujuan agar serbuk SnO₂ terlarut dan tidak bisa dibedakan antara zat terlarut dan pelarut. Jika larutan SnO₂ sudah menjadi gel, maka larutan tersebut siap dideposisikan pada substrat akrilik.

3.3.3 Fabrikasi Pandu Gelombang *Directional Coupler*

Fabrikasi pandu gelombang *directional coupler* dilakukan dengan melapiskan larutan SnO₂ pada substrat akrilik. Proses pelapisan SnO₂ pada substrat akrilik dilakukan dengan mendeposisikan larutan SnO₂ yang sudah menjadi gel kedalam lubang pada *channel* akrilik. Pada saat larutan SnO₂ dideposisikan pada *channel directional coupler*, salah satu port *directional coupler* diberi sebuah fiber optik *multimode*. Pemberian fiber optik pada *channel directional coupler* bertujuan untuk memudahkan meluruskan berkas cahaya laser pada saat dilakukan proses karakterisasi. Setelah terlapisi, substrat akrilik yang telah terlapisi SnO₂ dipanaskan dengan suhu 100 °C diatas *stirrer hotplate*. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan pelarut yang digunakan pada larutan SnO₂, dimana titik lebur untuk isopropanol yaitu 82,2 °C.

Film SnO₂ yang sudah terbentuk, selanjutnya dilapisi dengan lapisan MMA. Pelapisan MMA ini dilakukan sebanyak 2 kali, agar lapisan MMA benar-benar menutup film SnO₂. Pelapisan MMA berfungsi sebagai *cover* pada pandu gelombang SnO₂. Selanjutnya proses pemanasan pada suhu 70 °C selama 15 menit. Suhu pemanasan dijaga agar tidak melebihi titik didih dari MMA (100 °C). Pemanasan pada suhu 70 °C dilakukan untuk polimerisasi MMA menjadi PMMA.

3.3.4 Pengujian Transmittansi SnO₂

Pengujian transmittansi bahan SnO₂ pada pandu gelombang *directional coupler* yang telah difabrikasi dilakukan dengan menggunakan *Genesys 10S Spectrophotometer UV-Vis* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.6. Pengujian ini diperlukan untuk mengetahui rentang panjang gelombang yang sesuai agar cahaya bisa ditransmisikan kedalam film SnO₂ dengan baik.



Gambar 3.6 Genesys 10S Spectrophotometer UV-Vis

3.3.5 Pengukuran Output pada Masing-Masing Port

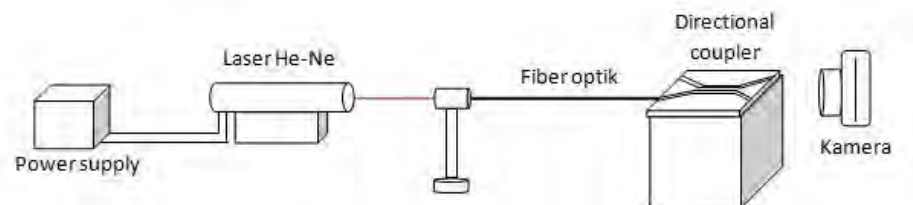
Karakterisasi pandu gelombang *directional coupler* dilakukan di Laboratorium Optoelektronika dan EM Terapan Jurusan Fisika FMIPA ITS. Pengukuran output pada masing masing port dari pandu gelombang *directional coupler* diperlihatkan pada Gambar 3.7, dimana berkas sinar laser *He-Ne* dimasukkan kedalam fiber optik untuk selanjutnya berpropagasi/ menjalar kedalam pandu gelombang *directional coupler*. Kemudian diambil foto penampang melintang *directional coupler* yang telah difabrikasi.

Proses selanjutnya yaitu analisa gambar, dilakukan dengan menggunakan software ImageJ sehingga diperoleh pola distribusi intensitasnya. Dari distribusi intensitas hasil pengolahan dengan software

ImageJ didapatkan juga data nilai komponen RGB (*Red Green Blue*) dari foto penampang melintang *directional coupler*. Karena sumber cahaya yang digunakan laser *He-Ne* yang mempunyai panjang gelombang 632,8 nm dengan keluaran berwarna merah, maka komponen warna merah pada nilai RGB tersebut diambil dan diolah.

Pengolahan data komponen warna merah pada nilai RGB dilakukan dengan membagi data komponen warna merah tersebut menjadi dua yaitu bagian kanan dan bagian kiri (port A2 dan B2). Hal tersebut dilakukan karena pandu gelombang yang difabrikasi memiliki dua port keluaran (port A2 dan B2). Setelah data komponen warna merah dibagi menjadi dua menjadi kanan dan kiri, data komponen warna merah tersebut dirata-rata. Nilai rata-rata data komponen warna merah untuk bagian kanan dan kiri merupakan nilai keluaran masing-masing port pandu gelombang yang difabrikasi.

Untuk mendapatkan nilai keluaran port (port A1) yang kembali di sebelah port input (port B1) dilakukan dengan cara yang sama seperti cara sebelumnya. Hanya saja yang diambil bagian kanan (port A1) saja karena bagian kiri merupakan intensitas cahaya yang terhambur disekitar input (port B1) dari pandu gelombang *directional coupler*.



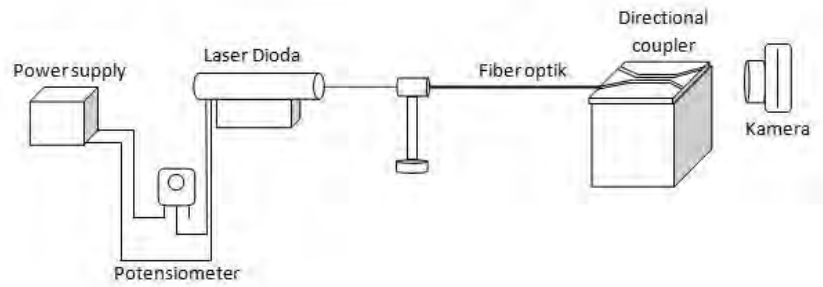
Gambar 3.7 Set Up Karakterisasi *directional coupler*

3.3.6 Pengukuran Output pada Masing-Masing Port Dengan Variasi Tegangan

Karakterisasi output pada masing-masing port *directional coupler* dengan variasi tegangan tidak jauh berbeda dengan karakterisasi output *directional coupler* pada masing-masing port. Hanya saja pada karakterisasi output masing-masing port *directional coupler* dengan variasi tegangan, laser yang digunakan sebagai sumber cahaya adalah laser dioda. Pada karakterisasi output masing-masing port dengan variasi tegangan tidak digunakan laser *He-Ne* karena tegangan untuk mengoperasikan laser tersebut cukup besar (± 110 VDC) dan tegangan tersebut tidak bisa divariasi. Sehingga pada karakterisasi masing-masing port *directional coupler* dengan variasi tegangan digunakan laser dioda. Laser dioda yang digunakan pada karakterisasi ini membutuhkan tegangan DC ± 3 volt untuk mengoperasikannya. Laser dioda yang digunakan pada karakterisasi ini memiliki rentang panjang gelombang ± 630 nm-650 nm dengan keluaran berwarna merah. Daya yang dikeluarkan laser dioda ini sebesar < 5 mW.

Mekanisme variasi tegangan pada laser dioda dilakukan dengan menambahkan potensiometer pada *power supply* sebelum disambungkan pada laser dioda. Potensiometer yang ditambahkan pada *power supply* merupakan jenis potensiometer 3 pin dengan nilai $1\text{ k}\Omega$. Adapun set-up karakterisasi *directional coupler* dengan variasi tegangan diperlihatkan pada Gambar 3.8.

Pengukuran output pada masing-masing port dengan variasi tegangan bertujuan untuk menguji ada tidaknya sifat nonlinear pada bahan yang dijadikan pandu gelombang, dalam hal ini serbuk SnO_2 . Dimana salah satu sifat nonlinearnya adalah indeks bias bahan tersebut tergantung pada intensitas cahaya yang melewati bahan tersebut.



Gambar 3.8 Set Up Karakterisasi *directional coupler* dengan variasi tegangan

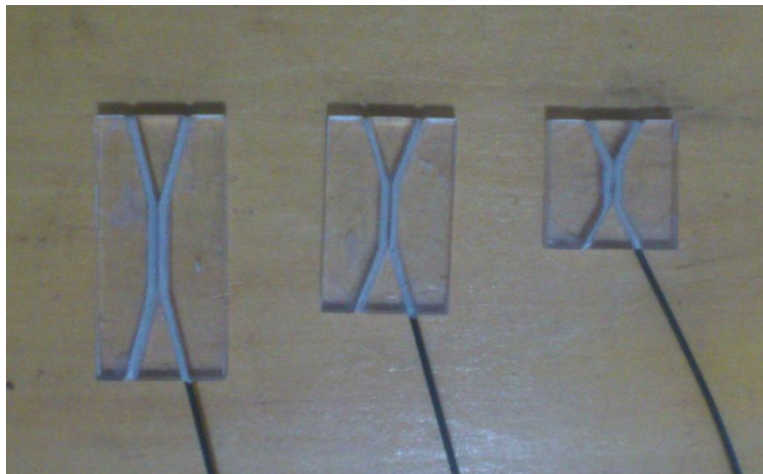
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Fabrikasi *Directional Coupler*

Pada penelitian ini telah difabrikasi tiga buah *directional coupler*. Ketiga *directional coupler* tersebut mempunyai lebar gap yang sama yaitu sebesar 1 point (0,353 mm). Panjang gabungan (*coupling length*) divariasikan dengan nilai masing-masing 5 mm, 10 mm dan 15 mm. Ketiga *directional coupler* hasil fabrikasi diperlihatkan pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Gambar *directional coupler* hasil fabrikasi

Fabrikasi pandu gelombang *directional coupler* dimulai dengan mendesain pola *directional coupler* menggunakan software *coreldraw* dengan beberapa variasi. Variasi panjang gabungan (*coupling length*) pada *directional coupler* yang akan difabrikasi bertujuan untuk mengetahui perbedaan keluaran pada masing-masing port *directional coupler*.

Proses fabrikasi *directional coupler* dilakukan dengan mendeposisikan larutan SnO_2 yang sudah menjadi gel pada substrat, dalam hal ini kaca akrilik. Kaca akrilik yang menjadi tempat deposisi larutan SnO_2 yang sudah menjadi gel merupakan gabungan dua buah kaca akrilik yang

digabungkan. Kaca akrilik bagian bawah merupakan kaca akrilik yang sudah mempunyai pola *directional coupler* dengan melalui proses grafir. Sedangkan kaca akrilik bagian atas merupakan kaca akrilik yang dipotong dengan laser menurut pola *directional coupler*. Kedua kaca akrilik tersebut dilekatkan dengan lem untuk membentuk *channel directional coupler*. *Channel directional coupler* yang terbentuk mempunyai lebar $\pm 0,5$ mm dan tinggi ± 2 mm.

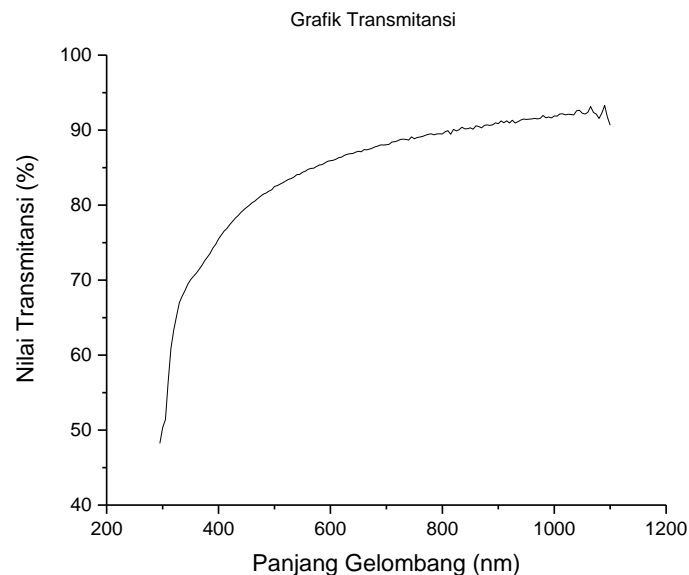
Channel directional coupler yang telah terbentuk kemudian dilapisi dengan larutan SnO₂ yang telah menjadi gel. Pelapisan larutan SnO₂ pada *channel directional coupler* dilakukan dengan mendeposisikan larutan SnO₂ pada *channel directional coupler*. Pada saat pendeposisian larutan SnO₂ pada *channel directional coupler*, salah satu port *directional coupler* diberi sebuah fiber optik. Pemberian fiber optik pada salah satu port *directional coupler* digunakan untuk memudahkan proses karakterisasi *directional coupler*. Substrat kaca akrilik yang sudah terlapisi larutan SnO₂, selanjutnya dipanaskan pada suhu 100 °C diatas *stirrer hotplate*. Proses pemanasan tersebut bertujuan untuk menghilangkan pelarut yang digunakan untuk melarutkan SnO₂, yaitu isopropanol yang mempunyai titik lebur 82,2 °C.

Lapisan SnO₂ yang telah terbentuk pada substrat kaca akrilik, kemudian dilapisi dengan *methyl methacrylate* (MMA). Proses pelapisan *methyl methacrylate* (MMA) pada lapisan SnO₂ yang telah terbentuk pada substrat kaca akrilik dilakukan dengan menggunakan metode *doctor blade*. Proses pelapisan *methyl methacrylate* (MMA) pada substrat kaca akrilik dilakukan 2 kali dengan tujuan lapisan MMA tersebut dapat menutup lapisan SnO₂. Lapisan *methyl methacrylate* (MMA) nantinya berfungsi sebagai cover pandu gelombang yang berbahan dasar SnO₂.

Setelah substrat kaca akrilik terlapisi dengan SnO₂ dan MMA, selanjutnya substrat tersebut dipanaskan pada suhu 70 °C selama 15 menit. Proses tersebut dilakukan untuk polimerisasi MMA menjadi PMMA.

4.2 Transmittansi SnO₂

Uji transmittansi lapisan SnO₂ dilakukan dengan menggunakan alat *Genesys 10S Spectrophotometer UV-Vis*. Transmittansi merupakan fraksi atau perbandingan intensitas cahaya yang ditransmisikan setelah melewati suatu sampel dengan intensitas cahaya sebelum melewati suatu sampel. Uji transmittansi lapisan SnO₂ dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui prosentase transmittansi lapisan SnO₂ pada berbagai macam panjang gelombang. Hasil uji tersebut diperlihatkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil Uji Transmittansi SnO₂

Berdasarkan Gambar 4.2 terlihat bahwa rentang panjang gelombang yang dapat ditransmisikan yaitu pada daerah panjang gelombang tampak \pm 300 nm-1000 nm. Pada penelitian ini sumber laser yang digunakan yaitu laser He-Ne dengan panjang gelombang 632,8 nm. Sumber laser He-Ne pada penelitian ini digunakan untuk karakterisasi *directional coupler*. Karakterisasi tersebut dilakukan untuk mengetahui perbandingan output masing-masing port *directional coupler*. Selain itu pada penelitian ini digunakan juga laser dioda dengan panjang gelombang \pm 630 nm-650 nm. Laser dioda ini digunakan untuk karakterisasi *directional coupler* dengan variasi tegangan.

Karakterisasi tersebut dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya sifat nonlinear bahan SnO₂ yang dijadikan sebagai pandu gelombang.

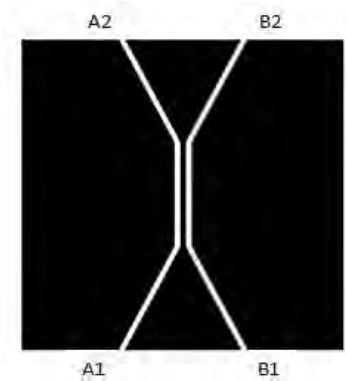
4.3 Karakterisasi Pandu Gelombang *Directional Coupler*

Pandu gelombang hasil fabrikasi dikarakterisasi dengan menggunakan laser He-Ne yang ditransmisikan melalui fiber optik. Laser He-Ne memiliki panjang gelombang 632,8 nm dan dalam kisaran panjang gelombang daerah tampak dengan keluaran berwarna merah.

Proses karakterisasi pandu gelombang *directional coupler* dimulai dengan mengambil foto penampang melintang pandu gelombang *directional coupler* saat diberi sinar laser. Sketsa pandu gelombang *directional coupler* diperlihatkan pada Gambar 4.3. Jika B1 sebagai input, maka A2, A1 dan B2 sebagai output dan sebaliknya. Gambar penampang melintang pandu gelombang DC2 dengan panjang gabungan (*coupling length*) 10 mm diperlihatkan pada Gambar 4.4, untuk DC1 dengan panjang gabungan (*coupling length*) 5 mm dan DC3 dengan panjang gabungan (*coupling length*) 15 mm terdapat pada Lampiran A.

Pandu gelombang DC2 hasil fabrikasi sudah dapat memandu sinar laser dengan cukup baik, namun kurang terlihat bagus pada bagian yang lain. Hal tersebut diakibatkan karena kurang rata lapisan SnO₂ yang berada pada film. Kurang rata lapisan SnO₂ yang berada pada film diakibatkan karena pada saat proses pemanasan sebagian pelarut SnO₂ menguap dan menimbulkan sebagian lubang pada jalur pandu gelombang yang terbentuk. Selain itu pelapisan *methyl methacrylate* (MMA) alangkah baiknya dilakukan pada bagian bawah, kiri dan kanan *channel directional coupler* sebelum dilapisi dengan larutan SnO₂. Pelapisan ini bertujuan untuk membentuk lapisan *cover* untuk *directional coupler* pada bagian bawah, kiri dan kanan *directional coupler*. Lapisan *cover* pada *directional coupler* ini berfungsi untuk mencegah cahaya terhambur ke bawah, kiri dan kanan pada *channel*

directional coupler. Yang pada akhirnya jika cahaya yang dihamburkan bisa diminimalkan, maka cahaya yang ditransmisikan akan lebih besar dengan rugi daya yang semakin kecil. Mengingat ukuran pandu gelombang *directional coupler* yang telah difabrikasi memiliki ukuran yang termasuk dalam pandu gelombang yang bersifat *multimode*.

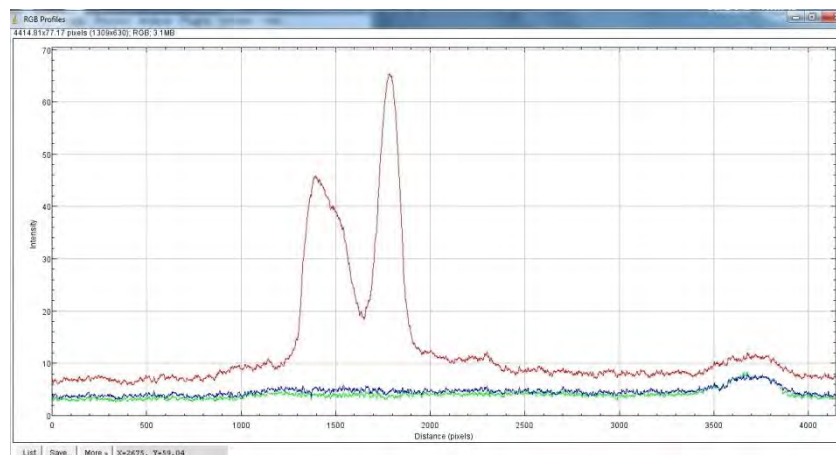


Gambar 4.3 Pandu Gelombang *Directional Coupler*

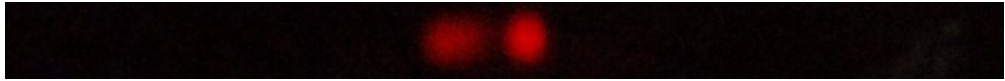
Adapun gambar penampang melintang untuk port A2 B2 dan A1 B1 beserta plot RGB dari pandu gelombang DC2 dengan panjang gabungan (*coupling length*) 10 mm diperlihatkan pada Gambar 4.4



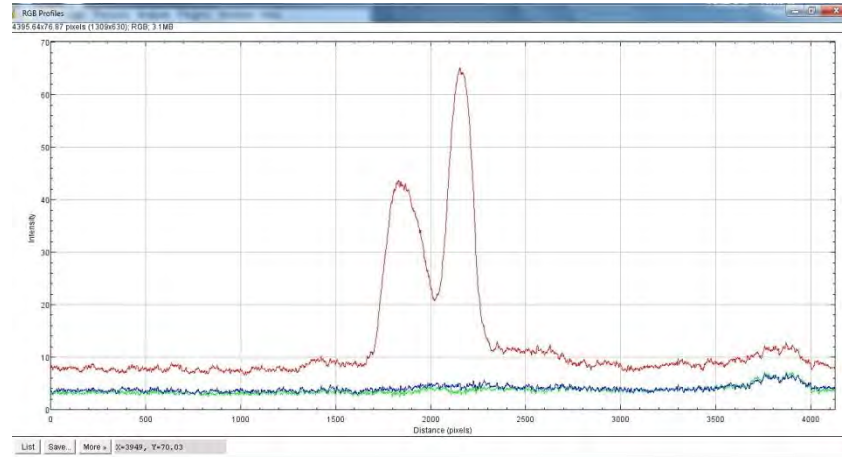
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.4 Pandu Gelombang DC2 Dengan panjang gabungan (*coupling length*) 10 mm Dengan Input B1 (a) Port A2 B2 (b) Plot RGB Port A2 B2 (c) Port A1 B1 (d) Plot RGB Port A1 B1

Gambar 4.4 (a) merupakan penampang melintang dari DC2 dengan input port B1. Sebelah kiri merupakan distribusi intensitas port B2 dan sebelah kanan merupakan distribusi intensitas port A2. Gambar 4.4 (a) kemudian diolah dengan software ImageJ sehingga didapatkan Gambar 4.4 (b). Gambar 4.4 (b) menjelaskan bahwa output keluaran pandu gelombang DC2 untuk port B2 lebih tinggi dibandingkan port A2, hal tersebut dikarenakan propagasi gelombang pada port B2 tidak melewati gap yang terdapat pada *directional coupler* sehingga daya yang terpandu lebih besar dibandingkan pada port A2 meskipun terdapat beberapa berkas cahaya yang terhambur di sekitar substrat akrilik. Gap yang terdapat pada *directional coupler* yang telah difabrikasi mempunyai ketebalan $\pm 0,353$ mm dengan tinggi ± 2 mm yang terbuat dari akrilik.

Gambar 4.4 (c) merupakan gambar penampang melintang pandu gelombang DC2 untuk port A1 B1. Berdasarkan plot RGB pada Gambar 4.4 (d) terlihat bahwa distribusi intensitas port B1 lebih tinggi daripada port A1.

Hal ini disebabkan karena port B1 bertindak sebagai input pada saat karakterisasi dilakukan.

Dari plot RGB masing-masing port *directional coupler* didapatkan data komponen warna merah, hijau dan biru (RGB) dari foto penampang melintang port keluaran. Data komponen warna merah tersebut kemudian dipisah dengan membaginya pada bagian kanan dan kiri mengingat port keluaran *directional coupler* terdiri dari dua port yaitu port A2 dan port B2. Data komponen warna merah bagian kanan dan bagian kiri kemudian dirata-rata sehingga didapatkan nilai keluaran tiap port pandu gelombang *directional coupler* yang telah difabrikasi. Nilai Prosentase keluaran didapatkan dengan membagi nilai rata-rata tiap port dengan jumlah seluruh port dan dikalikan dengan 100 %.

Nilai keluaran tiap port dan prosentase keluaran pandu gelombang *directional coupler* dengan panjang gabungan (*coupling length*) 5 mm, 10 mm dan 15 mm diperlihatkan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Nilai Keluaran Tiap Port *Directional Coupler*

Sampel	Input	Output			Output (%)		
		A1	A2	B2	A1	A2	B2
DC1	B1	23.7	21.9	43.9	26.5	24.5	49.1
DC2		39.5	45.9	43.5	30.6	35.6	33.7
DC3		18.6	9.1	19.8	39.2	19.2	41.7

Berdasarkan Tabel 4.1, terlihat bahwa untuk *directional coupler* dengan panjang gabungan (*coupling length*) 5 mm memiliki prosentase output keluaran mendekati 50 % : 25 % terhadap port yang berlawanan terhadap port input adalah port A1, dengan perbandingan prosentase pada port B2:A2 yaitu 49,1 %:24,5 %. Perbedaan ini disebabkan karena tidak seluruh moda dapat dipindah ke port sebelahnya (A2) melalui sebuah gap yang berukuran 0,353 mm atau 1 point. Ketika distribusi intensitas diamati dari ujung pandu gelombang, moda genap TE_0 menampilkan satu bintik terang di tengah, dan moda genap TE_1 menampilkan tiga bintik terang. Secara umum, moda genap TE_n menampilkan $2n + 1$ bintik terang.

Untuk *directional coupler* dengan panjang gabungan (*coupling length*) 10 mm memiliki prosentase output keluaran mendekati 50 % : 50 % terhadap port yang berlawanan terhadap port input adalah port A1, dengan perbandingan prosentase pada port B2:A2 yaitu 33,7 %:35,6 %. Dengan nilai perbandingan prosentase output tersebut, *directional coupler* dengan panjang gabungan (*coupling length*) 10 mm dapat dimanfaatkan sebagai komponen optik yang berfungsi sebagai pemecah berkas (*splitter*).

Directional coupler dengan panjang gabungan (*coupling length*) 15 mm memiliki prosentase output keluaran mendekati 20 % : 50 % terhadap port yang berlawanan terhadap port input adalah port A1, dengan perbandingan prosentase pada port B2:A2 yaitu 41,7 %:19,2 %. Dengan nilai perbandingan prosentase output tersebut, *directional coupler* dengan panjang gabungan (*coupling length*) 15 mm dapat dimanfaatkan sebagai komponen optik yang berfungsi sebagai pembagi daya (*power divider*).

Berdasarkan Tabel 4.1 untuk pandu gelombang DC1 dan DC2 dapat dikatakan bahwa semakin panjang daerah gabungan (*coupling length*) maka fraksi atau perbandingan daya yang berpindah ke port A2 juga semakin besar. Akan tetapi untuk DC3, dengan semakin panjang daerah gabungan (*coupling length*), fraksi daya yang berpindah ke port A2 semakin kecil. Hal tersebut disebabkan karena beberapa sebab salah satunya adalah banyaknya cahaya input yang terhambur disekitar substrat akrilik. Banyaknya cahaya yang terhambur disekitar substrat akrilik disebabkan karena pada bagian bawah, kiri dan kanan pandu gelombang tidak terdapat lapisan yang berfungsi sebagai *cladding*.

4.4 Karakterisasi Pandu Gelombang *Directional Coupler* Dengan Variasi Tegangan

Karakterisasi pandu gelombang *directional coupler* dengan variasi tegangan tidak jauh berbeda dengan karakterisasi pandu gelombang *directional coupler*. Hanya saja pada karakterisasi pandu gelombang *directional coupler* sumber laser yang digunakan adalah laser dioda berwarna merah dengan panjang gelombang ± 630 nm-650 nm. Penggunaan laser dioda

pada penelitian ini disebabkan karena laser dioda hanya membutuhkan tegangan DC ± 3 volt untuk menyuplai laser tersebut selain itu pada laser dioda dapat dilakukan variasi pada tegangan operasionalnya. Sedangkan untuk laser *He-Ne* dibutuhkan tegangan DC sebesar ± 110 volt untuk menyuplai laser tersebut dan tegangan operasional pada laser *He-Ne* tidak dapat divariasi.

Karakterisasi pandu gelombang *directional coupler* dengan variasi tegangan dilakukan dengan menambahkan potensiometer pada *power supply* sebelum disambungkan pada laser dioda. Potensiometer yang ditambahkan pada *power supply* merupakan jenis potensiometer 3 pin dengan nilai 1 k Ω . Karakterisasi pandu gelombang *directional coupler* dengan variasi tegangan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui ada tidaknya sifat nonlinear bahan SnO₂ yang digunakan sebagai pandu gelombang. Dimana salah satu sifat nonlinearitasnya adalah nilai indeks bias bahan tersebut tergantung pada intensitas cahaya. Indeks bias yang bergantung pada intensitas cahaya merupakan dasar bagi rekayasa komponen/ devais untuk *switching*. Peristiwa tersebut dikenal sebagai efek elektrooptik kuadratik atau efek *Kerr*. Efek *Kerr* ini merupakan dasar bagi modulator, *optical shutter* atau *switching* dan *directional coupler*.

Adapun nilai keluaran tiap port pada pandu gelombang *directional coupler* hasil karakterisasi dengan variasi tegangan dengan panjang gabungan (*coupling length*) 5 mm, 10 mm dan 15 mm diperlihatkan pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Nilai Keluaran Tiap Port *Directional Coupler* Dengan Variasi Tegangan

Sampel	Volt	Input	Output			Output (%)		
			A1	A2	B2	A1	A2	B2
DC1	5.4	B1	13.2	8.3	9.7	42.3	26.6	31.1
	6.4		10.5	8.8	10	35.8	30.0	34.1
	7.4		8.1	9.9	8.5	30.6	37.4	32.1
DC2	5.4		9	8.5	10.9	31.7	29.9	38.4
	6.4		8.7	9.4	9.1	32.0	34.6	33.5
	7.4		7.7	8.3	8.3	31.7	34.2	34.2
DC3	5.4		7.6	8.9	8.5	30.4	35.6	34.0

	6.4		7.6	8.4	9.7	29.6	32.7	37.7
	7.4		7.2	8.1	8.3	30.5	34.3	35.2

Berdasarkan Tabel 4.2, untuk *directional coupler* dengan panjang gabungan (*coupling length*) 5 mm (DC1) semakin tinggi tegangan yang diberikan pada input laser dioda, maka intensitas cahaya yang berada pada port A2 juga semakin besar. Yaitu untuk tegangan masing-masing 5.4 volt, 6.4 volt dan 7.4 volt menghasilkan output 26.6 %, 30.0 % dan 37.4 %. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil intensitas cahaya yang diberikan pada port masukan (B1) maka semakin besar jumlah intensitas cahaya yang berpindah pada port A2.

Untuk *directional coupler* dengan panjang gabungan (*coupling length*) 10 mm (DC2) semakin tinggi tegangan yang diberikan pada input laser dioda, maka intensitas cahaya yang berada pada port A2 juga semakin besar. Yaitu untuk tegangan masing-masing 5.4 volt dan 6.4 volt menghasilkan output 29.9 % dan 36.4 %. Akan tetapi pada tegangan 7.4 volt output port A2 mengalami penurunan menjadi 34.2 % Hal ini disebabkan karena set up eksperimen karakterisasi *directional coupler* dengan variasi tegangan tidak begitu stabil. Sehingga nilai tegangan yang keluar dari potensiometer berfluktuasi. Fluktuasi potensiometer mengakibatkan arus yang keluar tidak konstan, sehingga intensitas cahaya yang masuk pada pandu gelombang juga berubah-ubah.

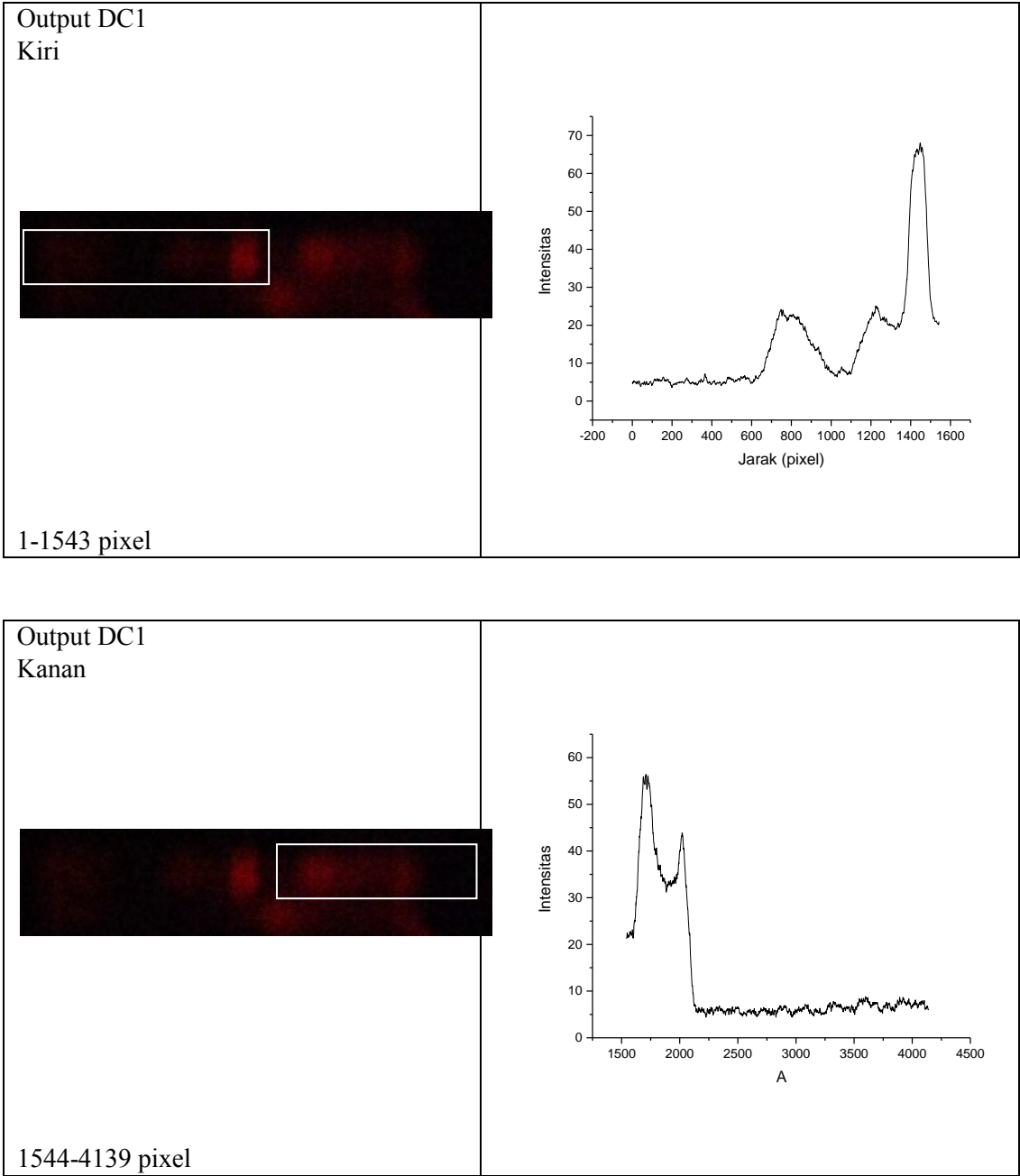
Directional coupler dengan panjang gabungan (*coupling length*) 15 mm (DC3) semakin tinggi tegangan yang diberikan pada input laser dioda, maka intensitas cahaya yang berada pada port A2 mengalami penurunan. Yaitu untuk tegangan masing-masing 5.4 volt, 6.4 volt dan 7.4 volt menghasilkan output pada port A2 masing-masing 35.6 %, 32.7 % dan 34.3 %. Berubahnya nilai output pandu gelombang *directional coupler* ketika diberi variasi tegangan bisa jadi diakibatkan terdapat sifat nonlinear pada bahan SnO₂. Namun untuk menentukan koefisien nonlinearitasnya diperlukan penelitian lanjutan yang tentunya lebih kompleks dari penelitian ini.

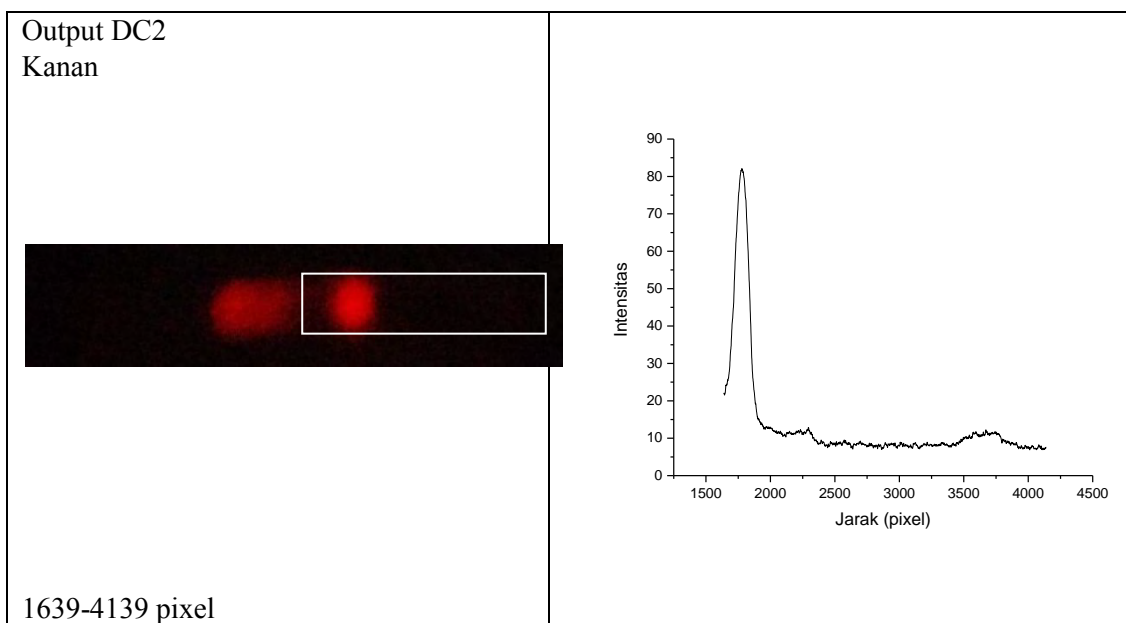
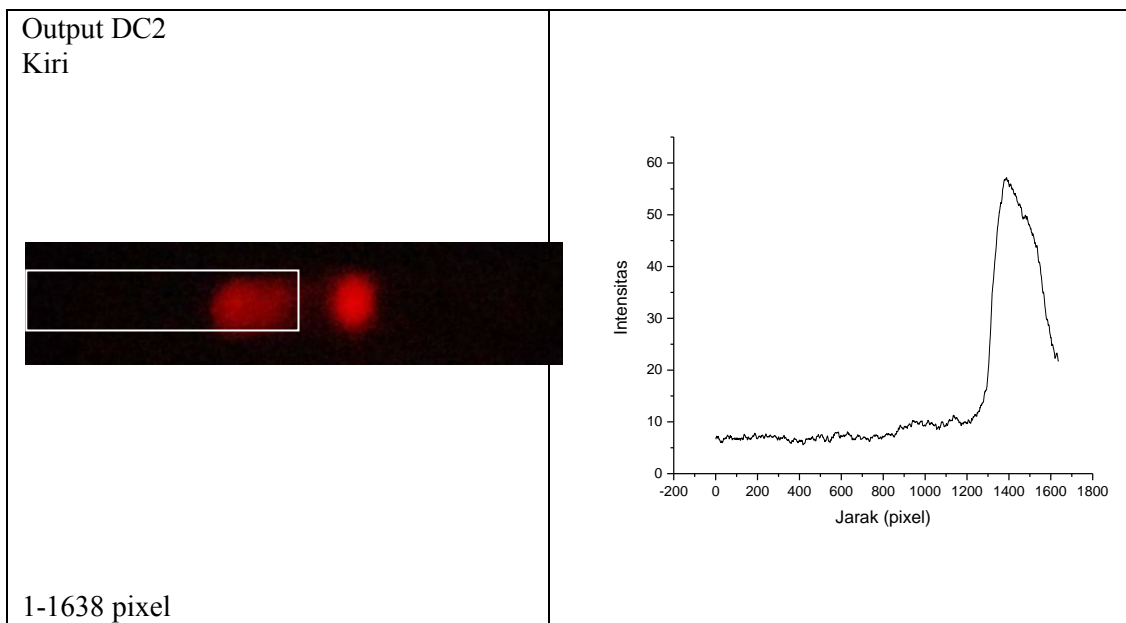
Optik nonlinear merupakan ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan fenomena fisika yang terjadi akibat medan yang ditimbulkan oleh laser. Teknologi ini dinamakan teknologi fotonik sebagai pengganti teknologi elektronik untuk memperoleh, menyimpan, menyiapkan, mengirim dan memproses informasi. Konsep komputer optik, proses sinyal optik dan *image* analisis sedang dikembangkan dengan menggunakan proses optik nonlinear sebagai konversi frekuensi, modulasi cahaya, *optical switching*, *optical logic*, penyimpan memory optik dan *optical limiter function*.

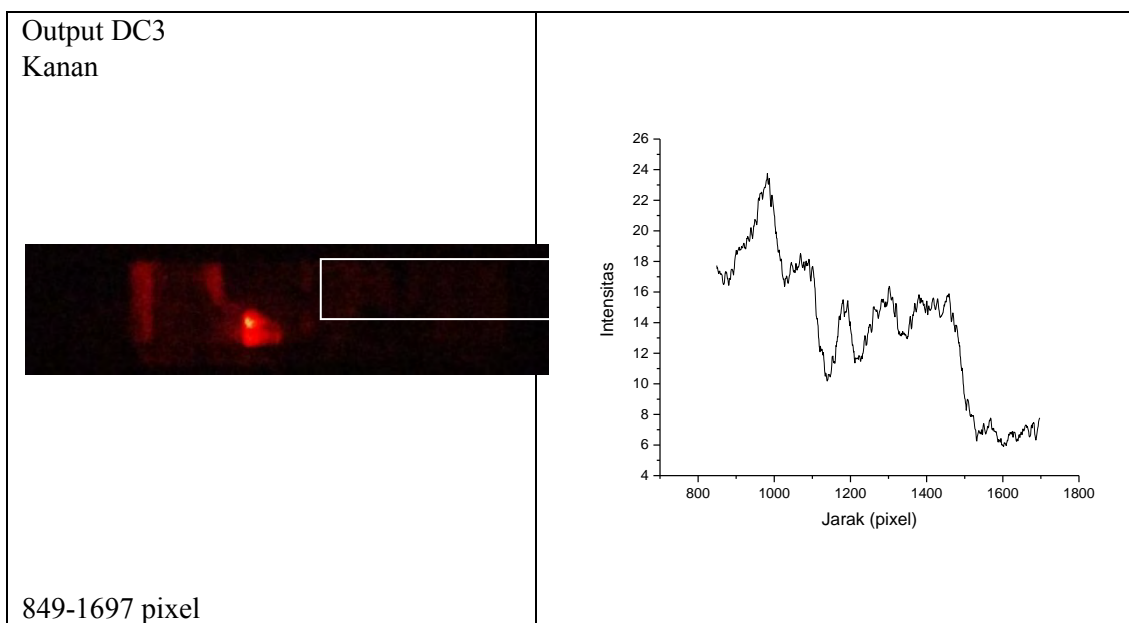
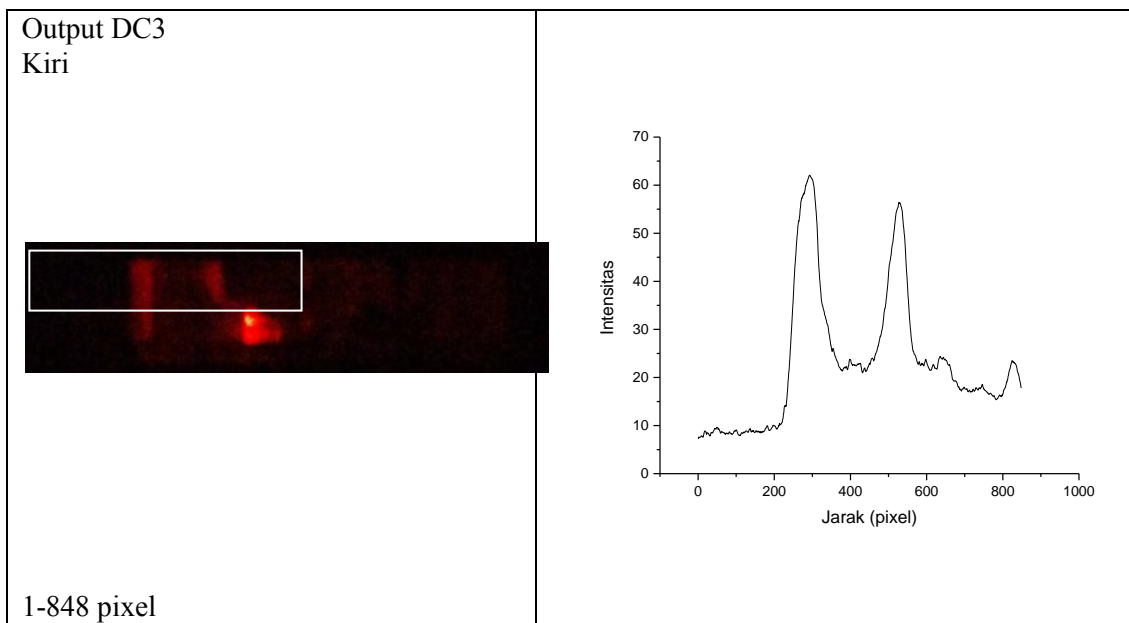
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN A

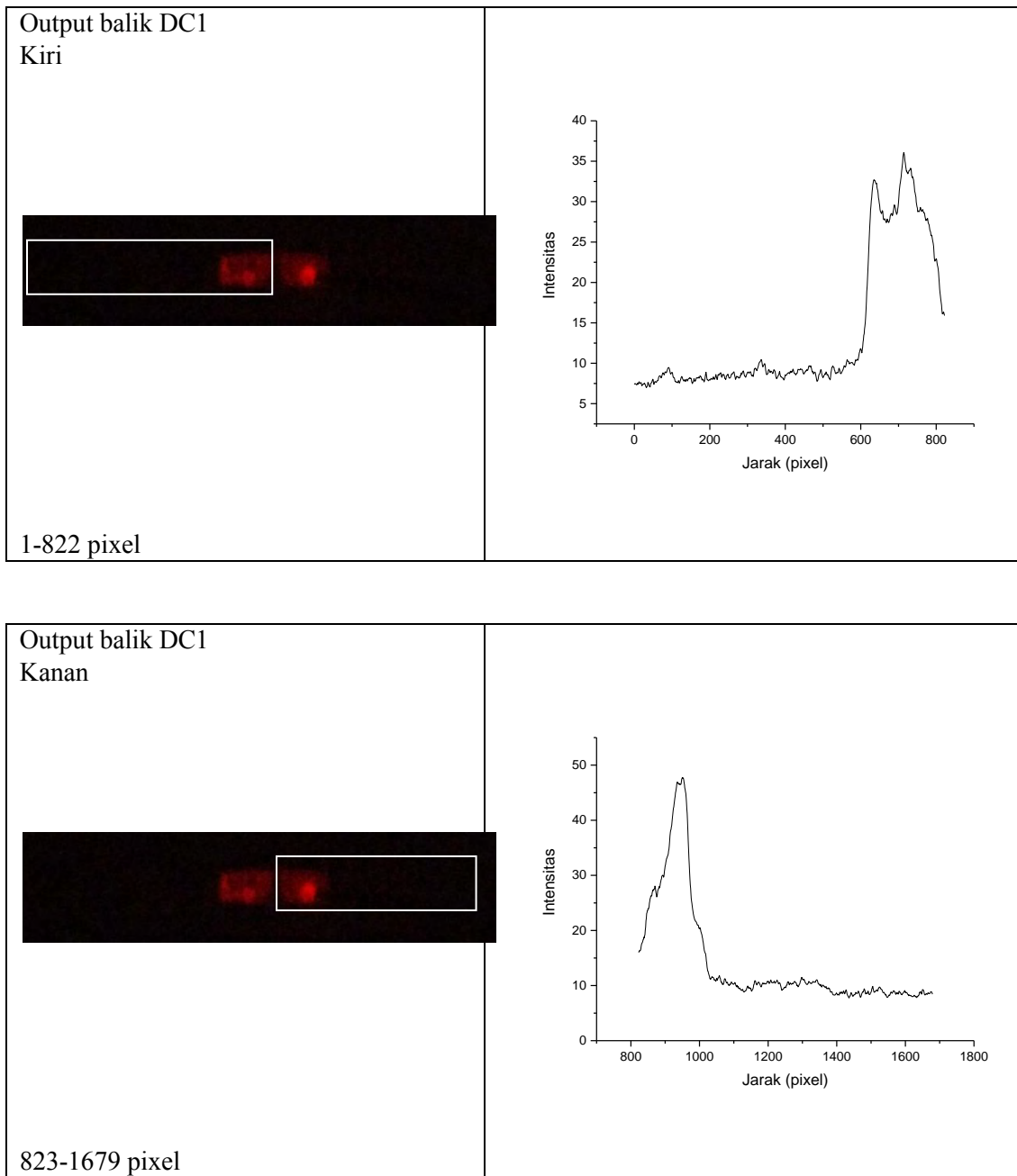
1. Output Directional Coupler

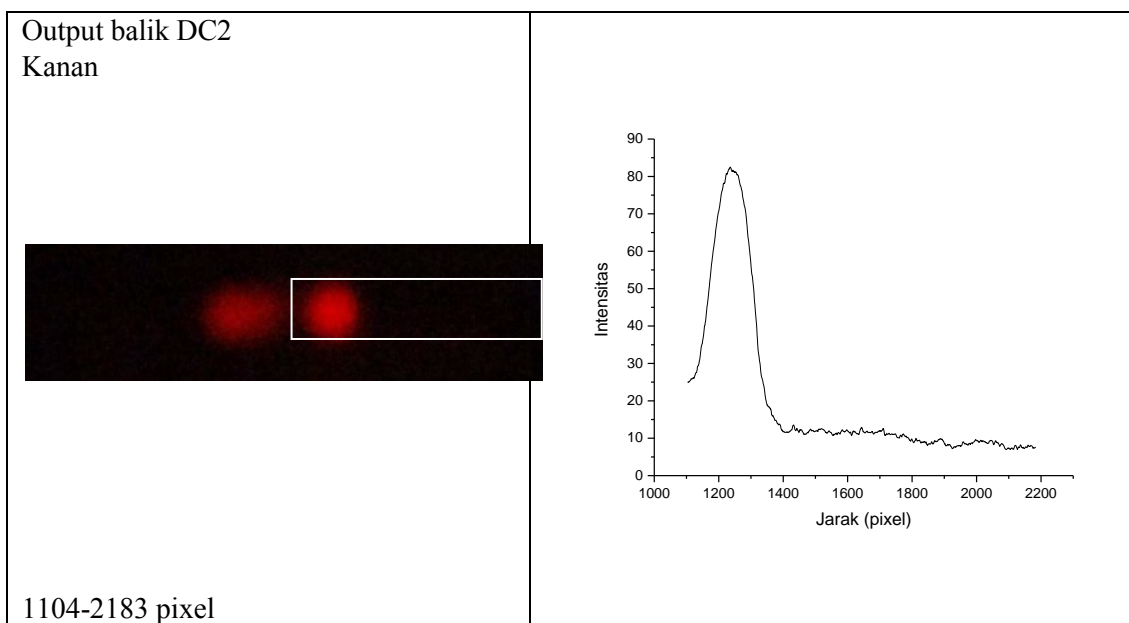
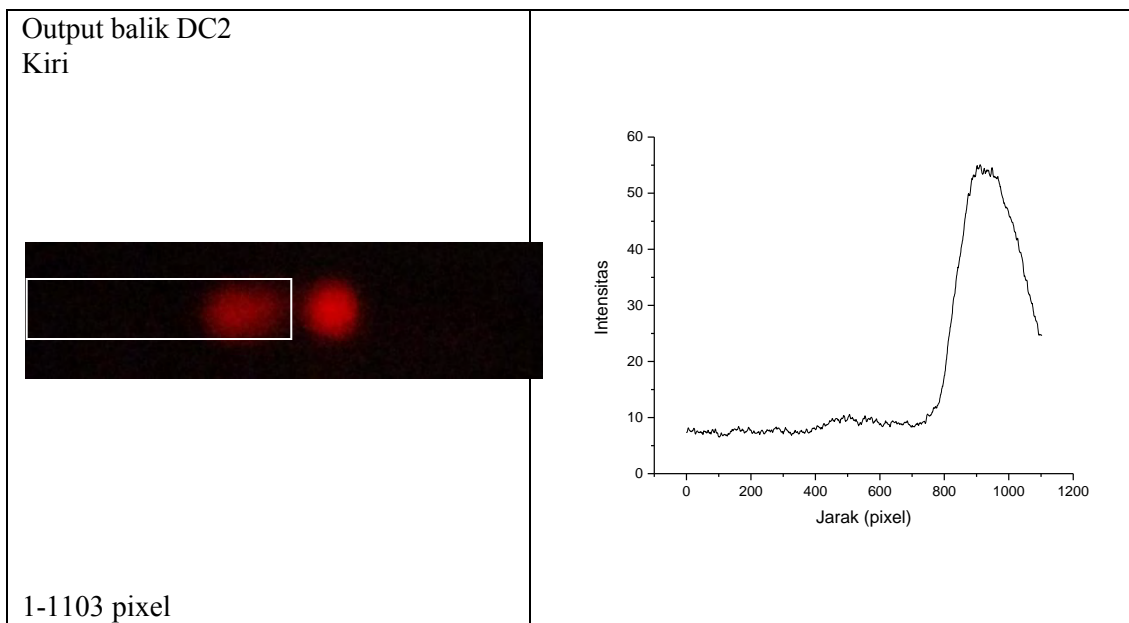


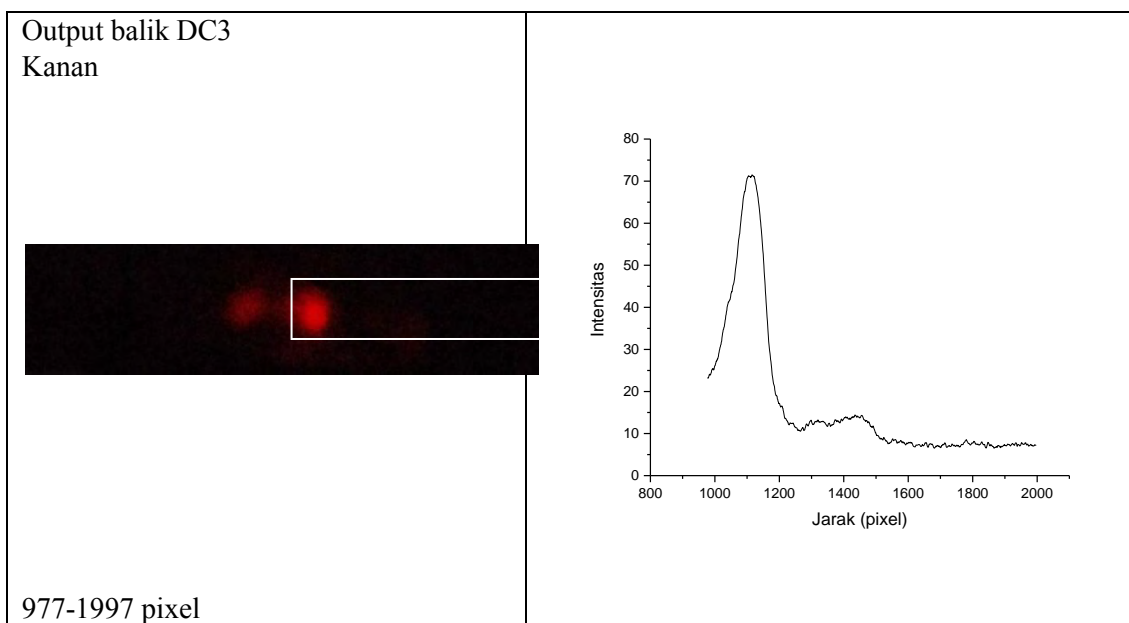
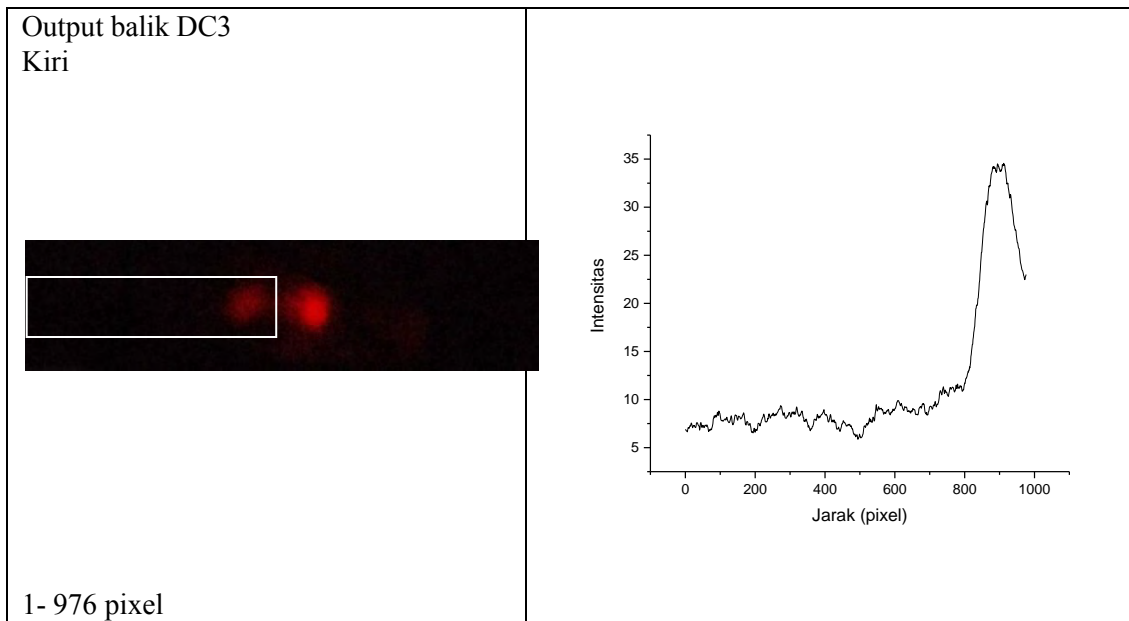




2. Output Balik Directional Coupler

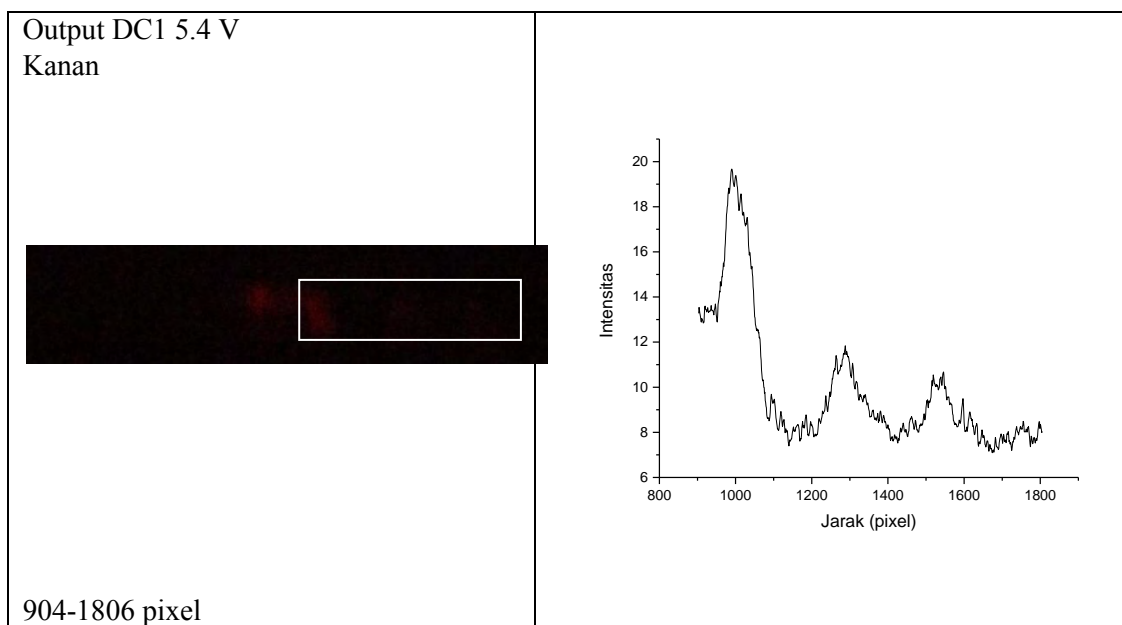
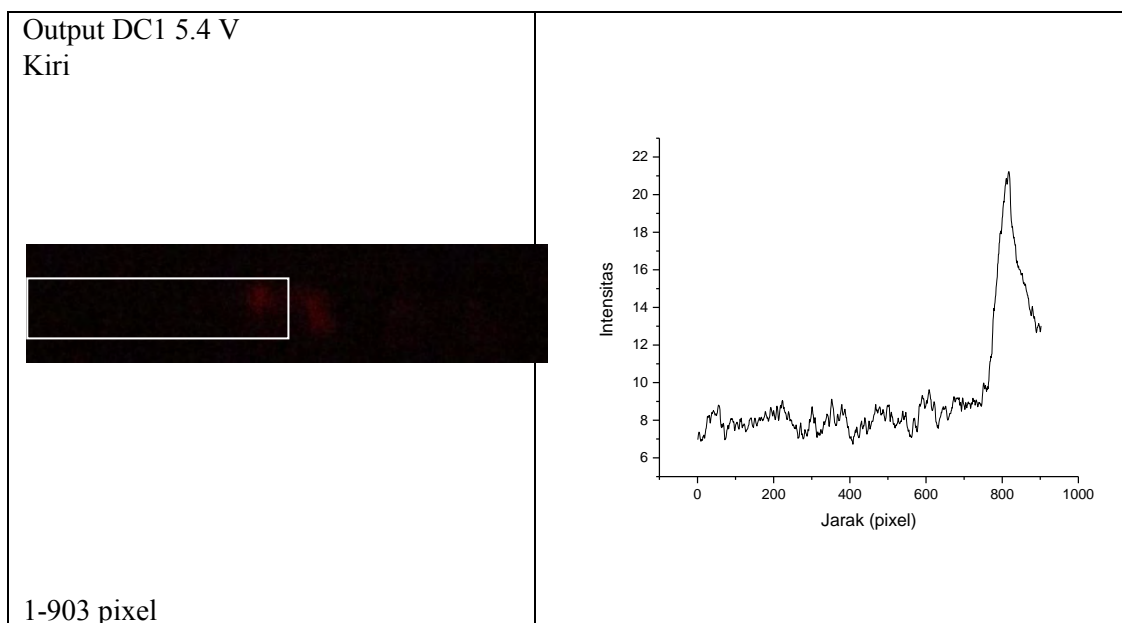


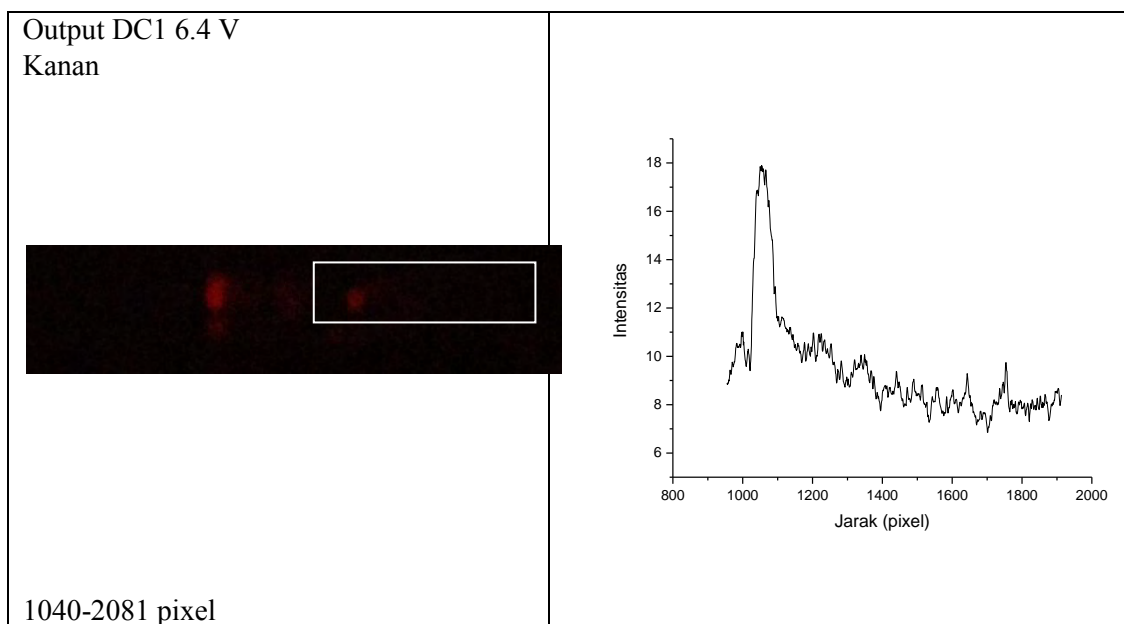
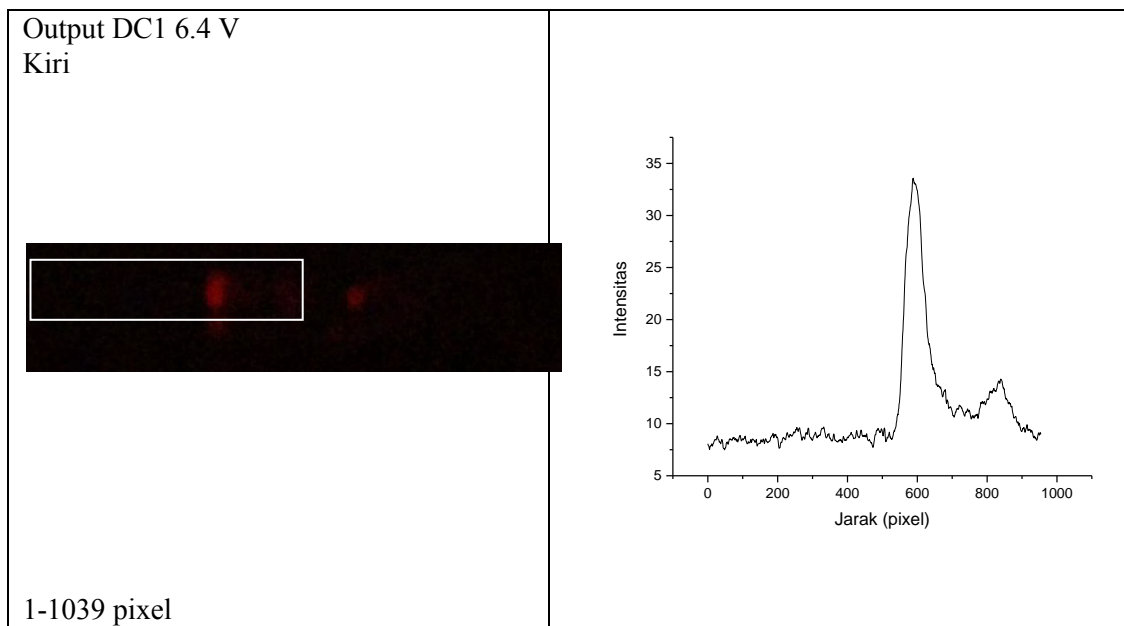


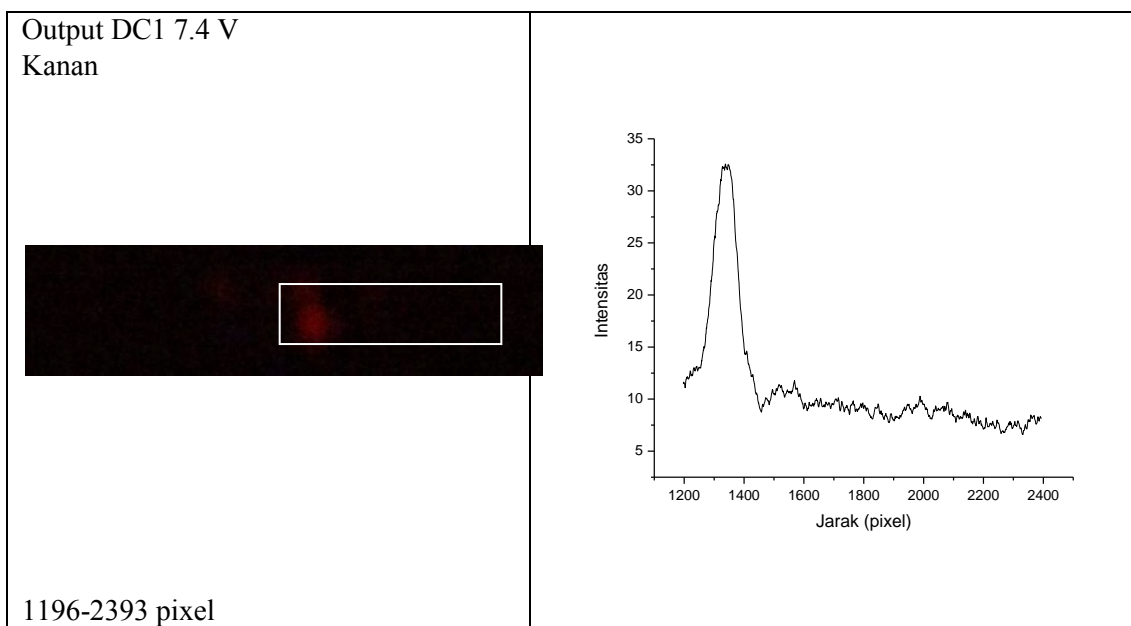
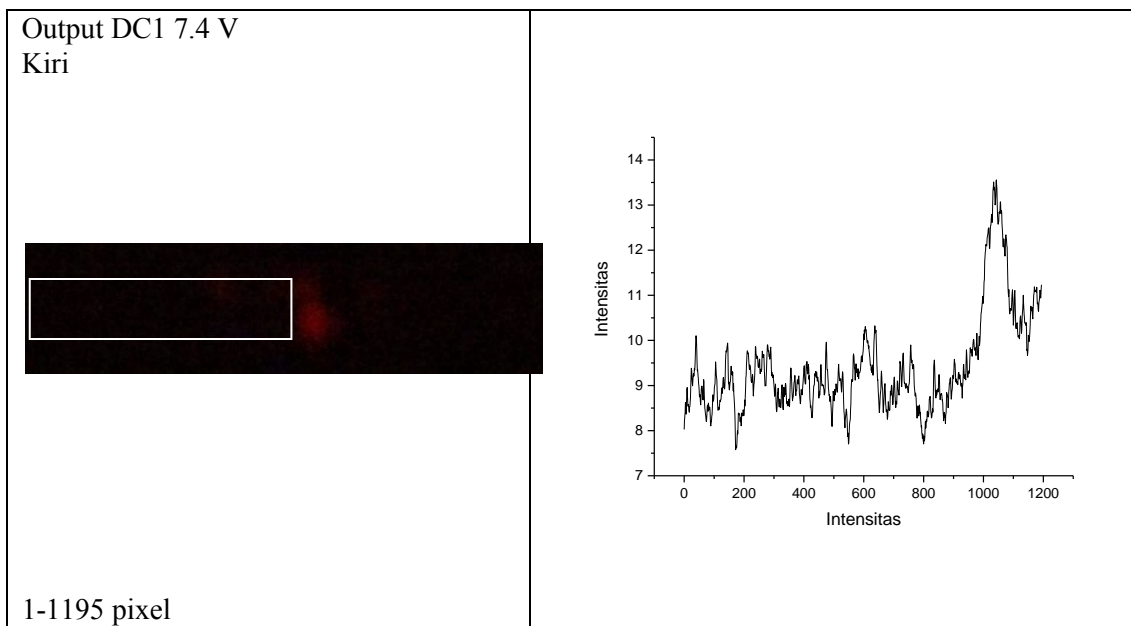


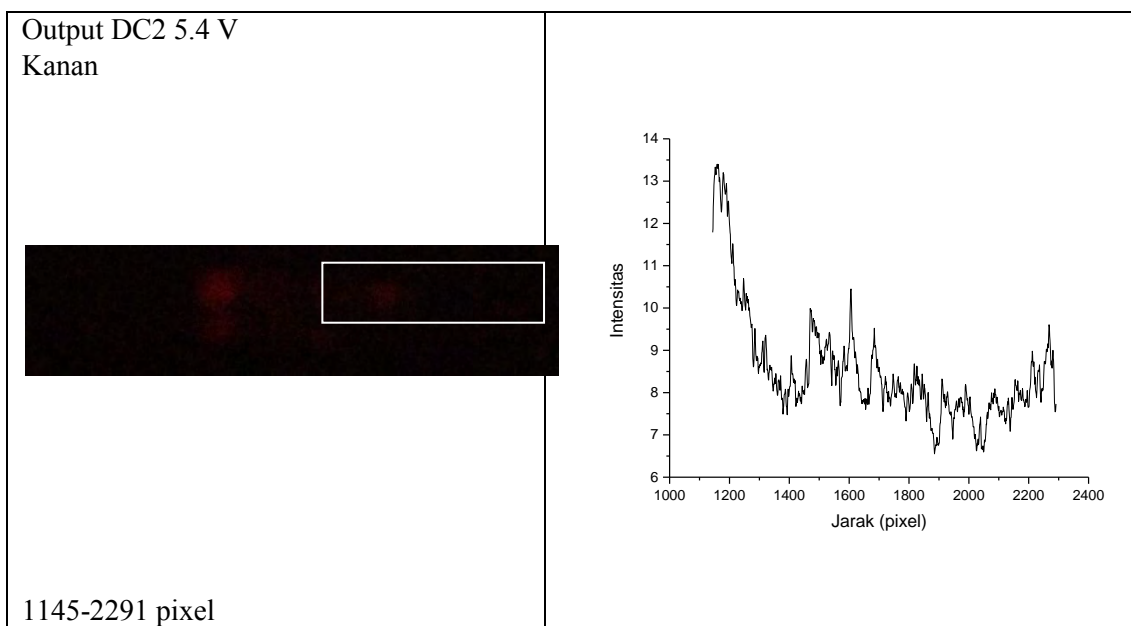
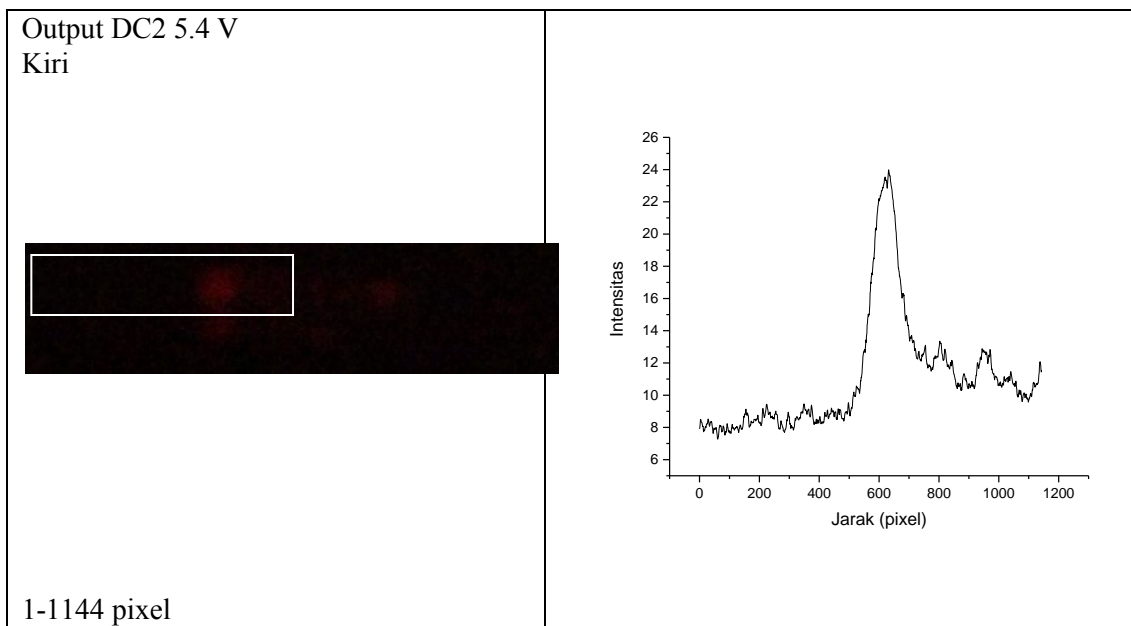
LAMPIRAN B

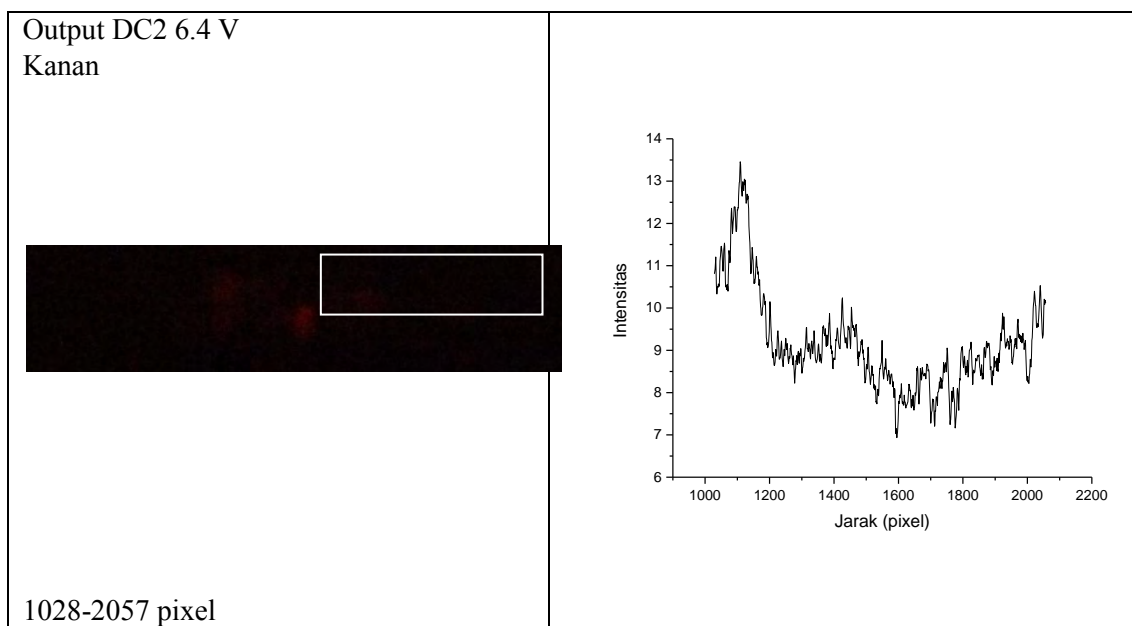
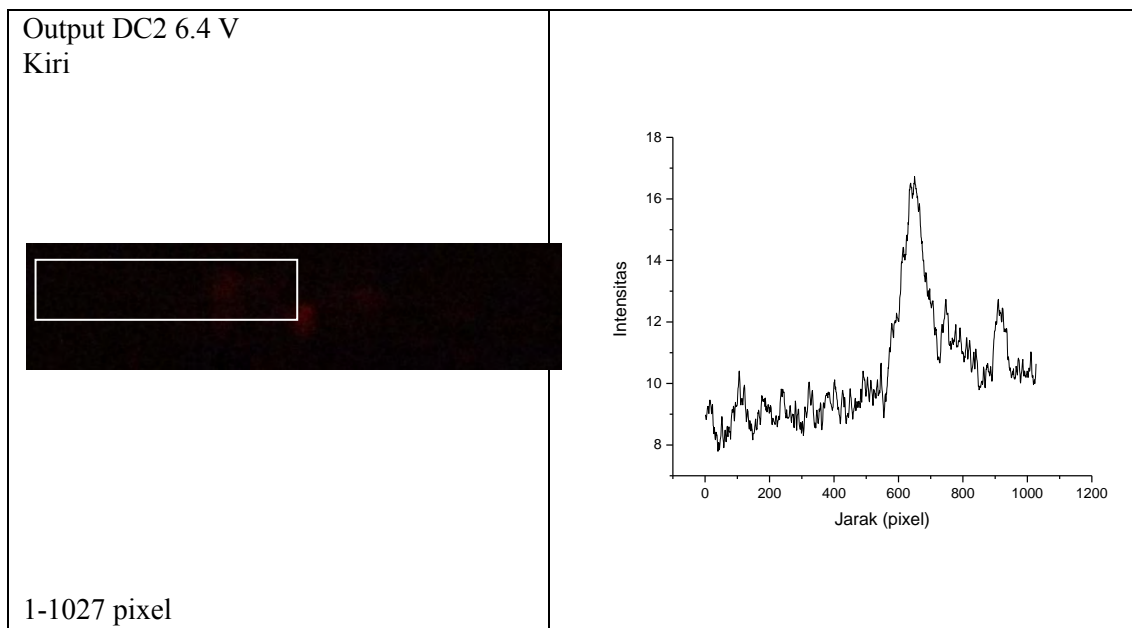
1. Output Directional Coupler Dengan Variasi Tegangan

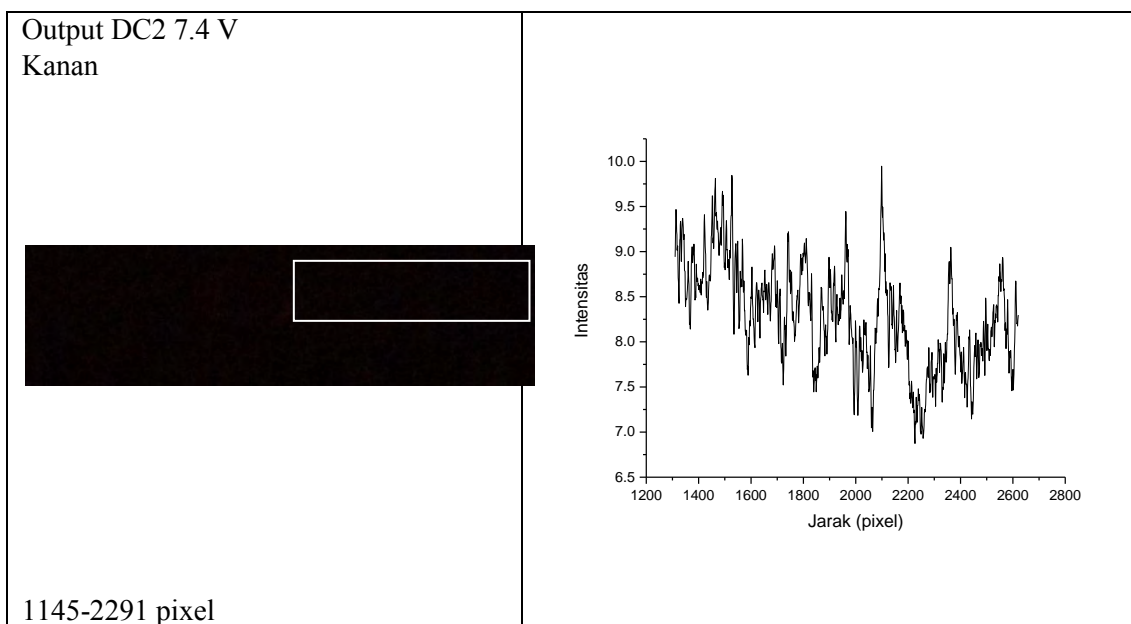
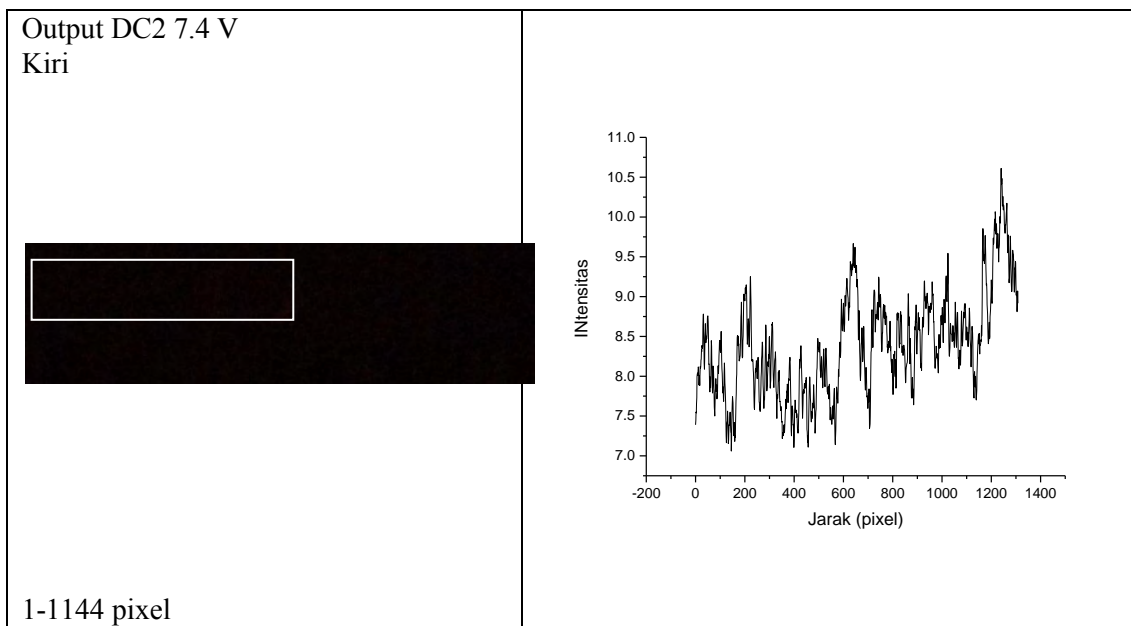


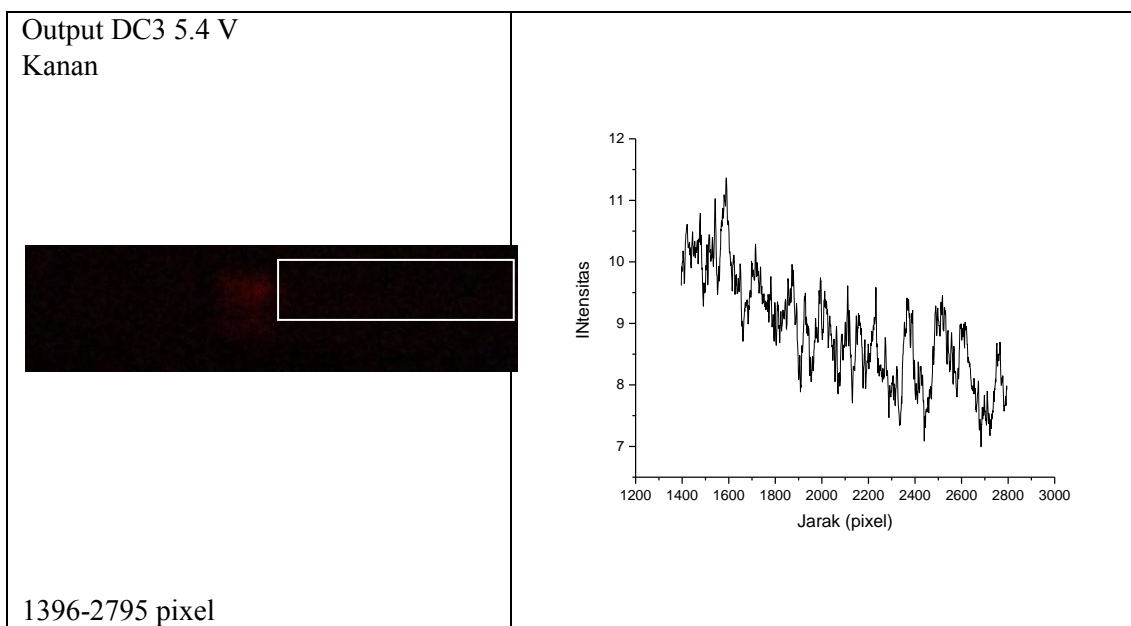
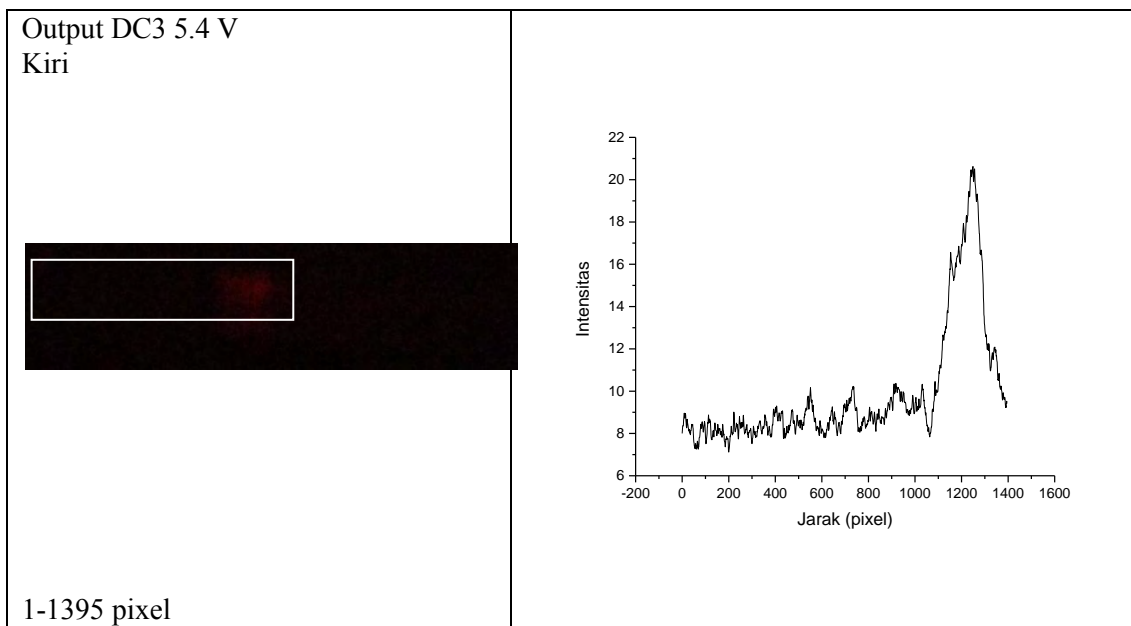


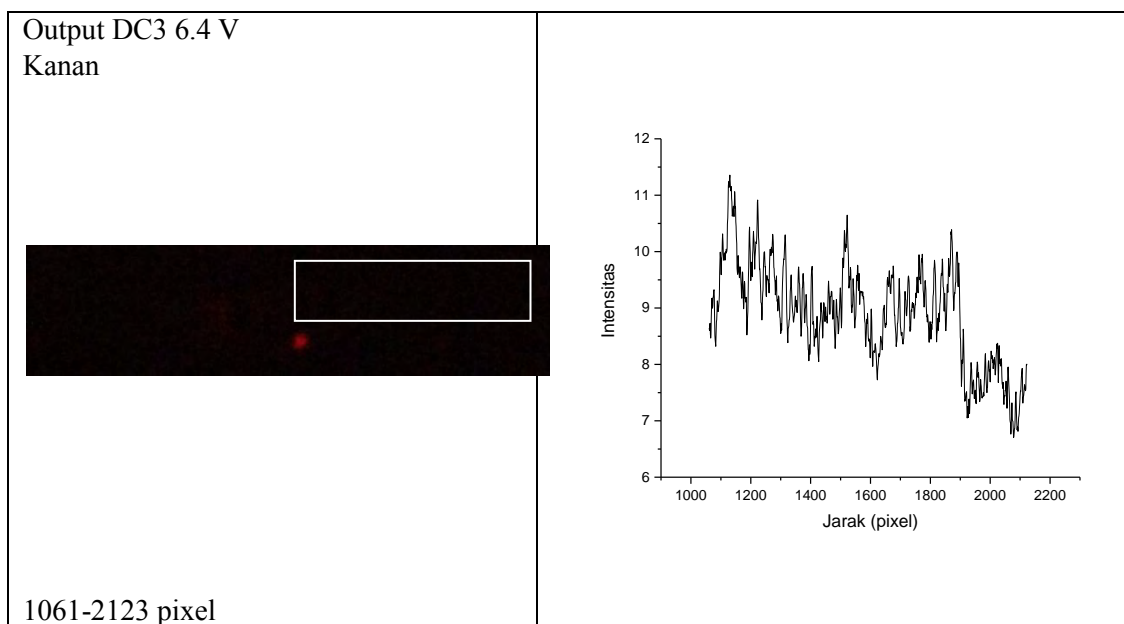
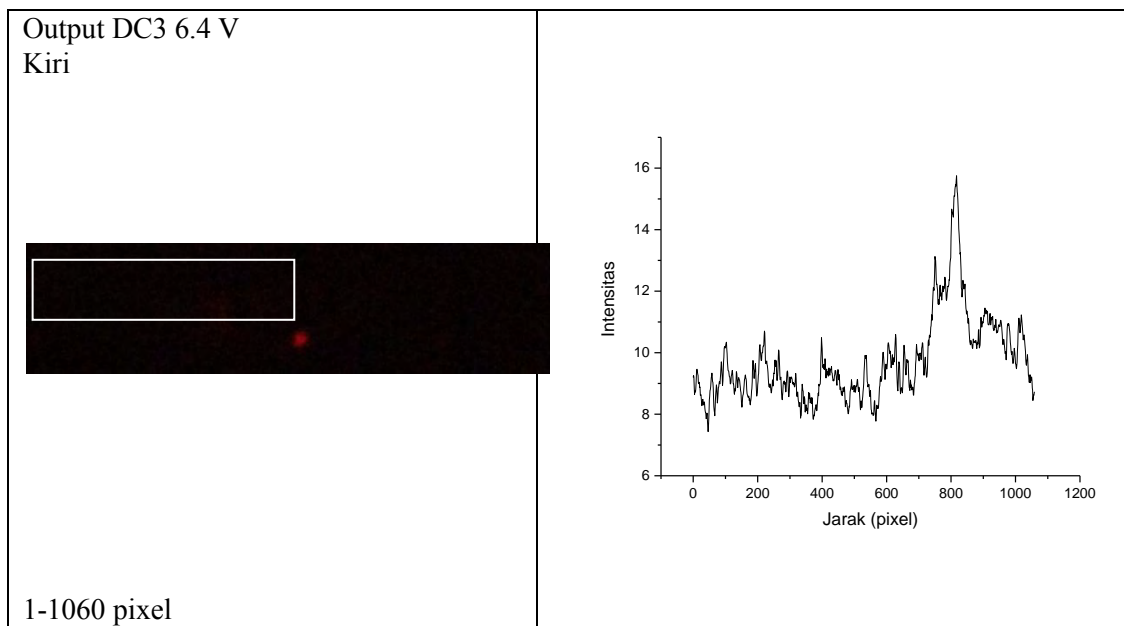


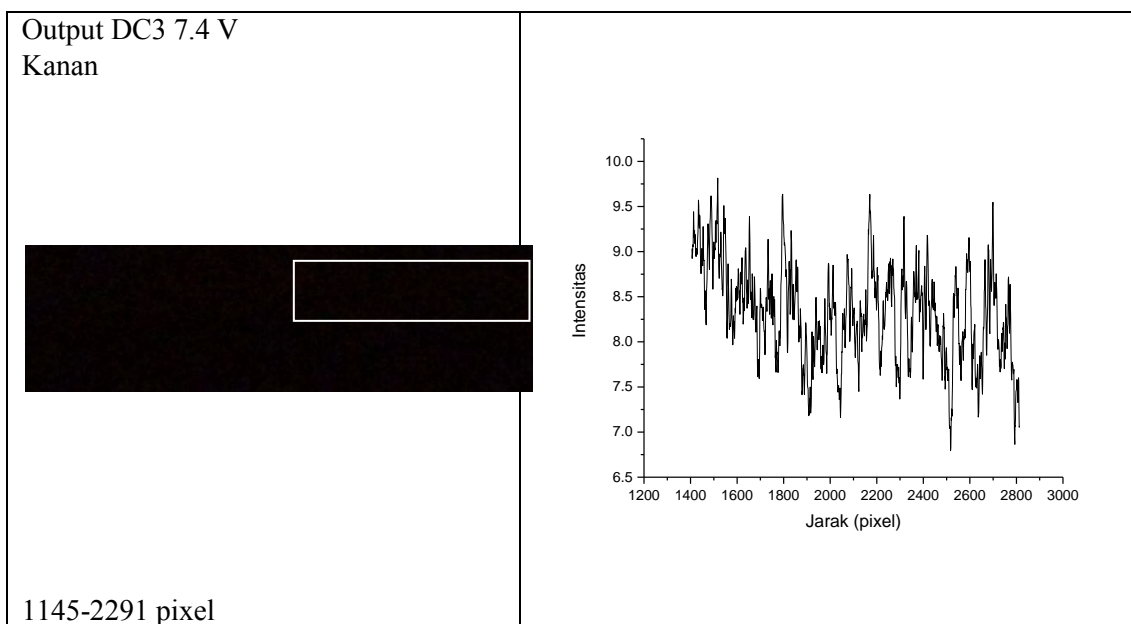
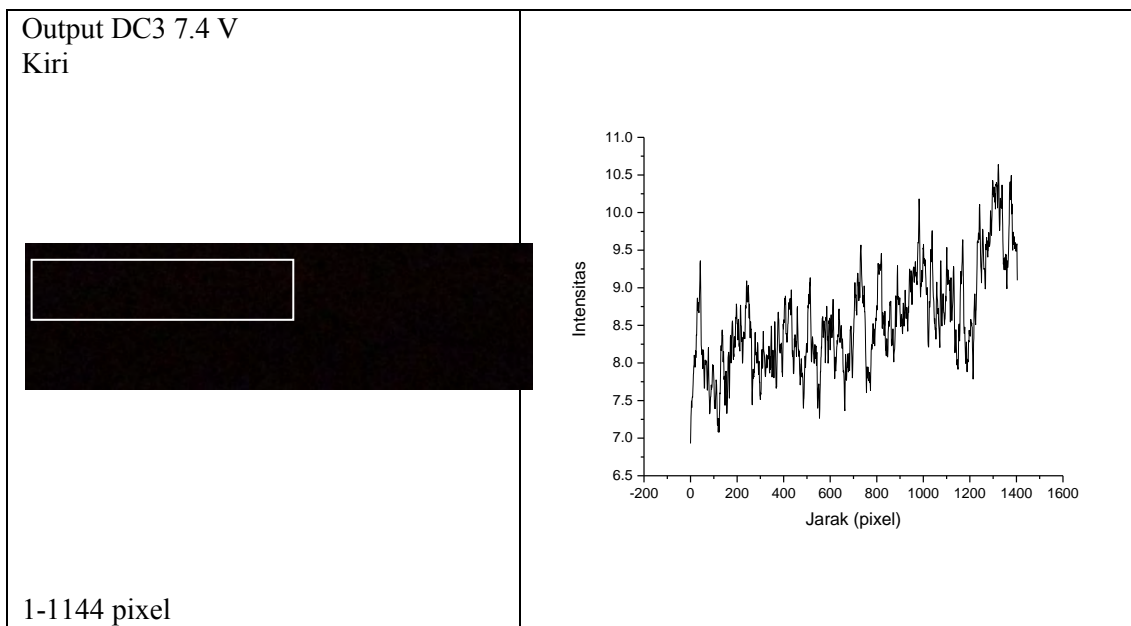




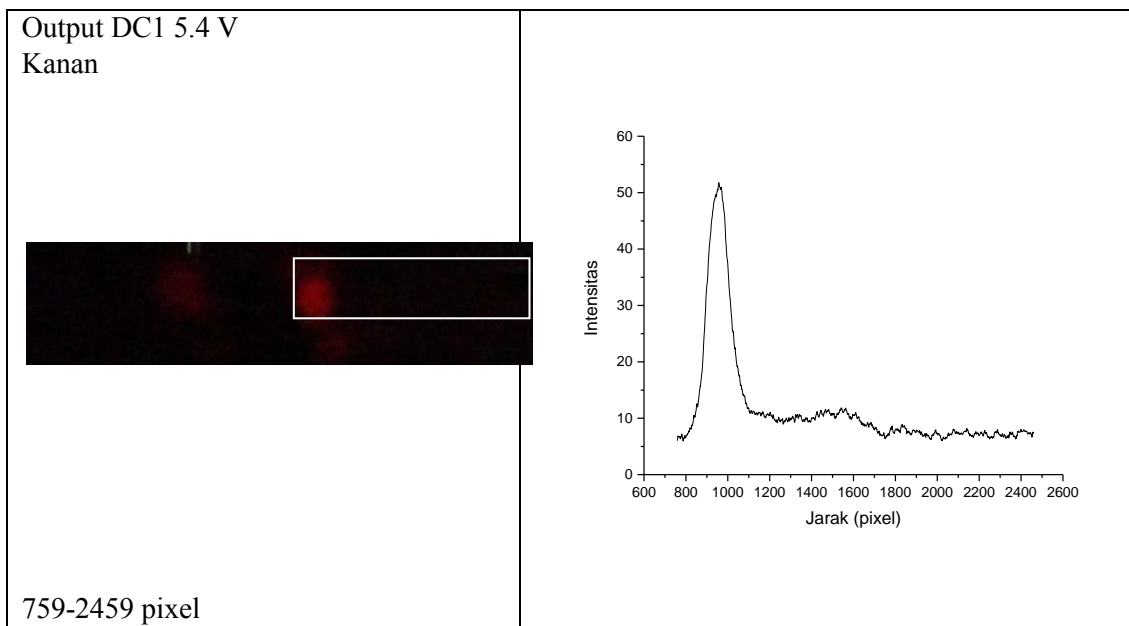
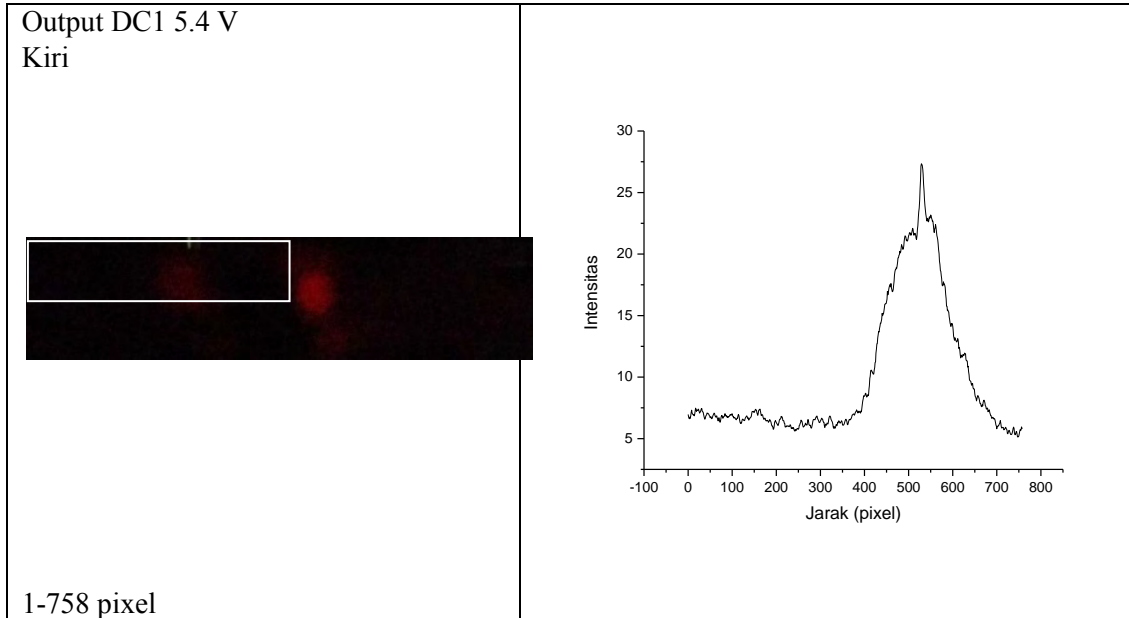


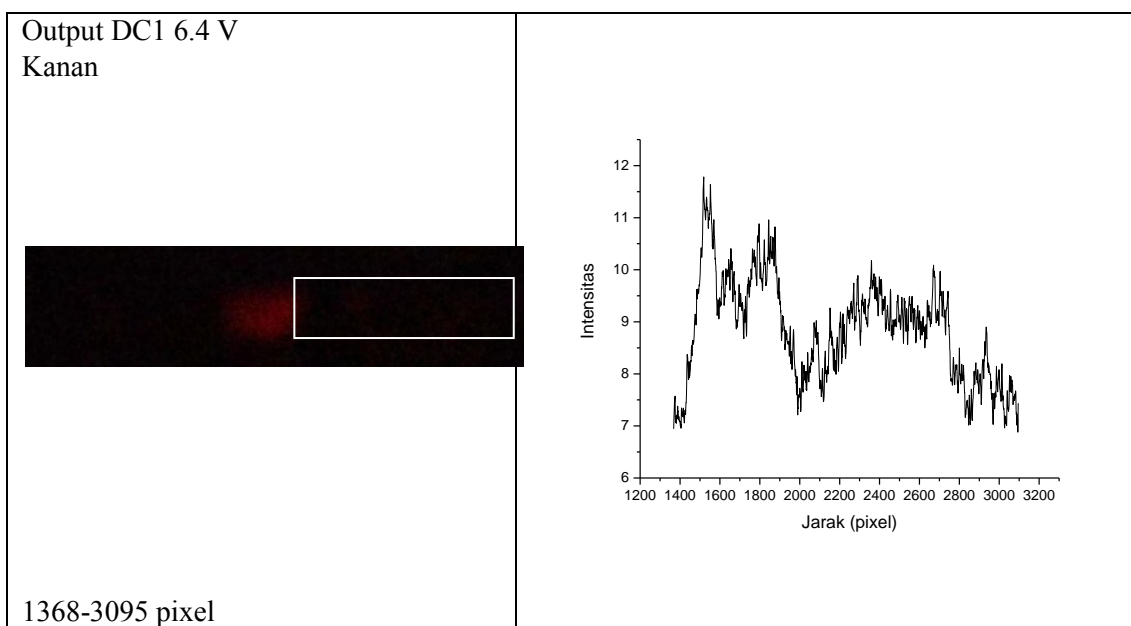
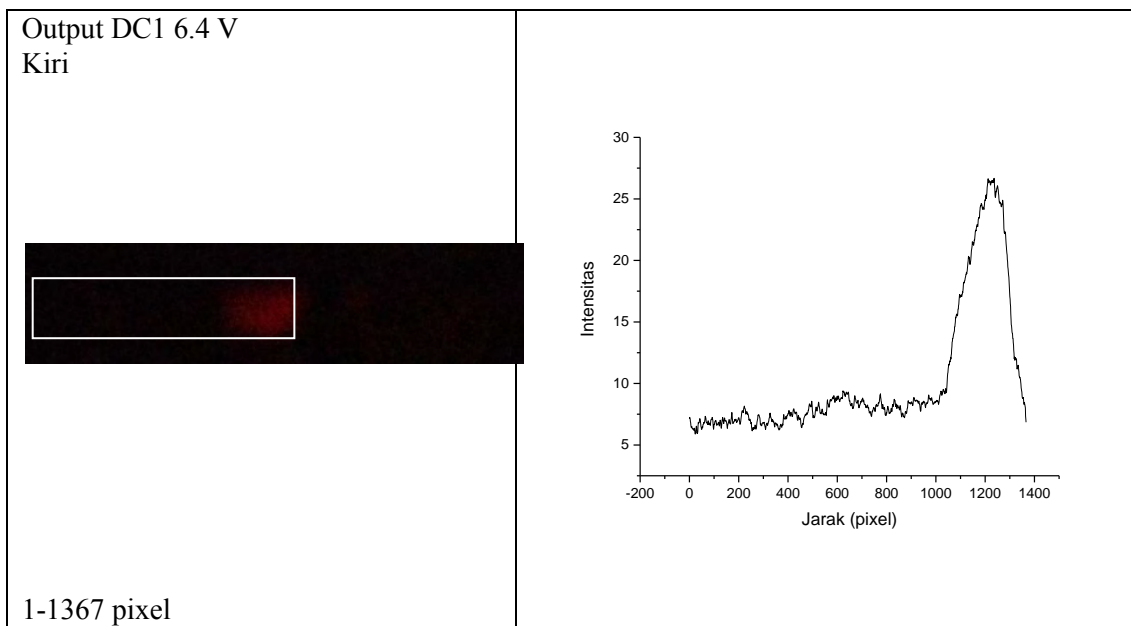


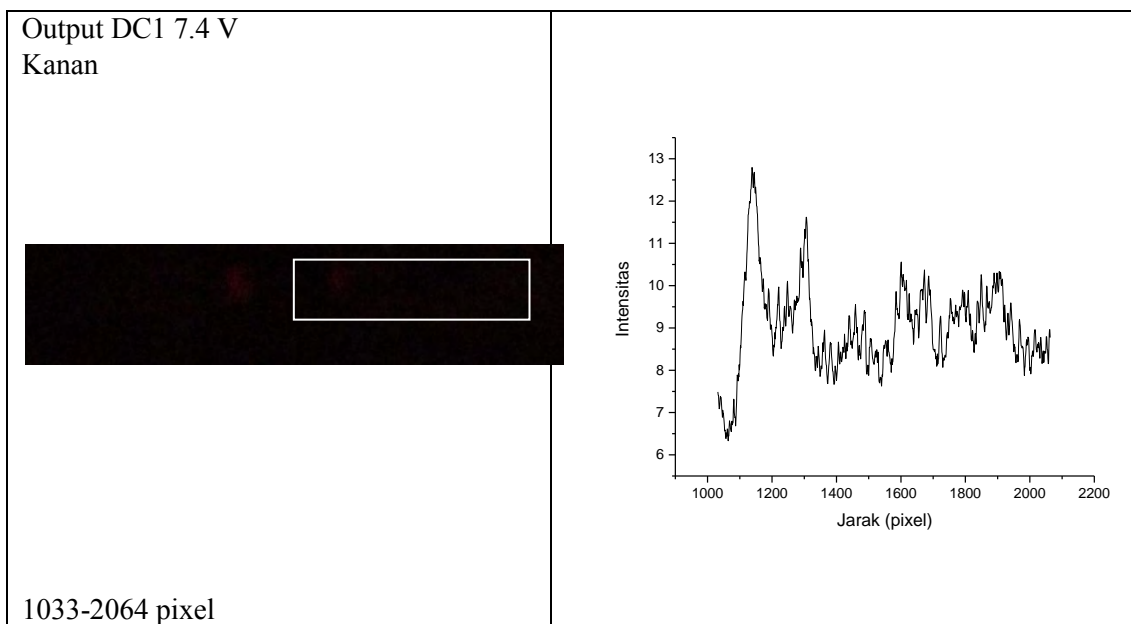
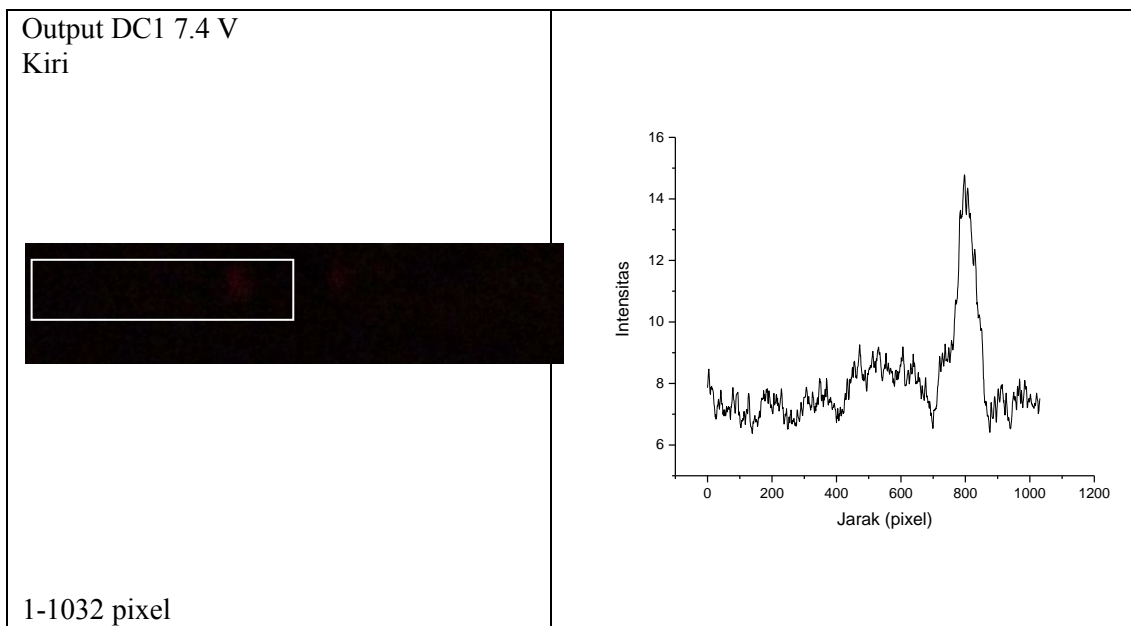


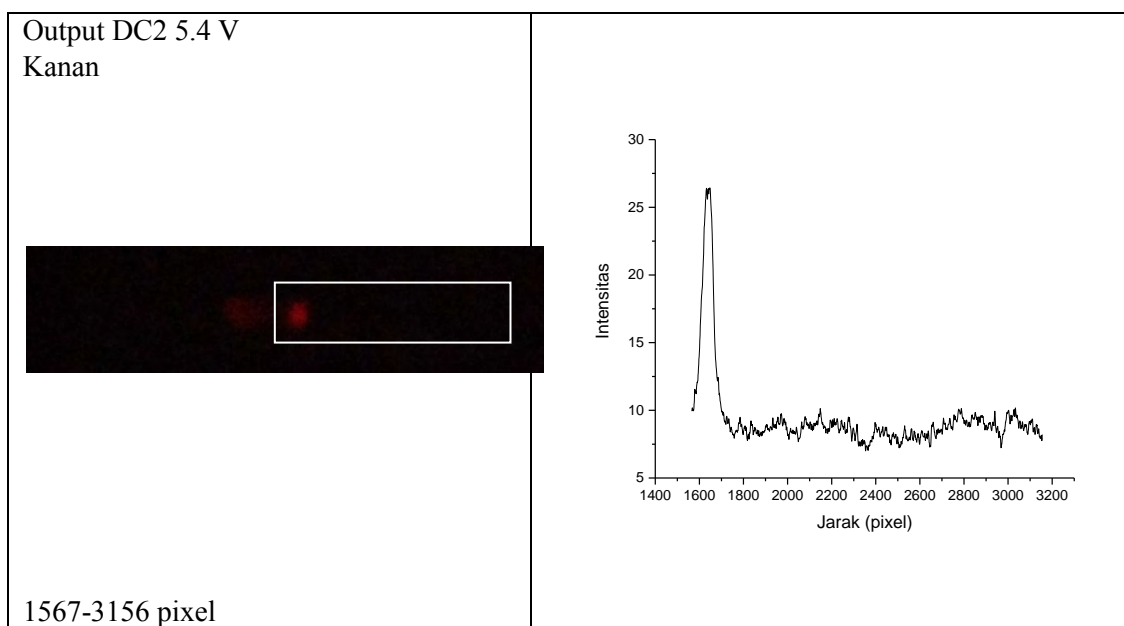
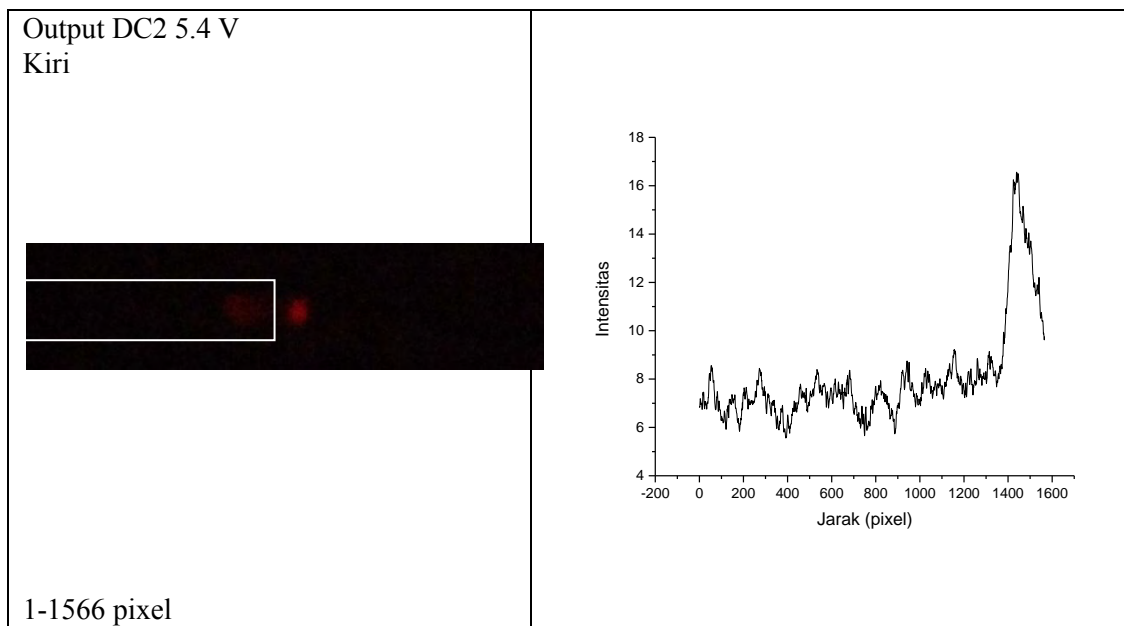


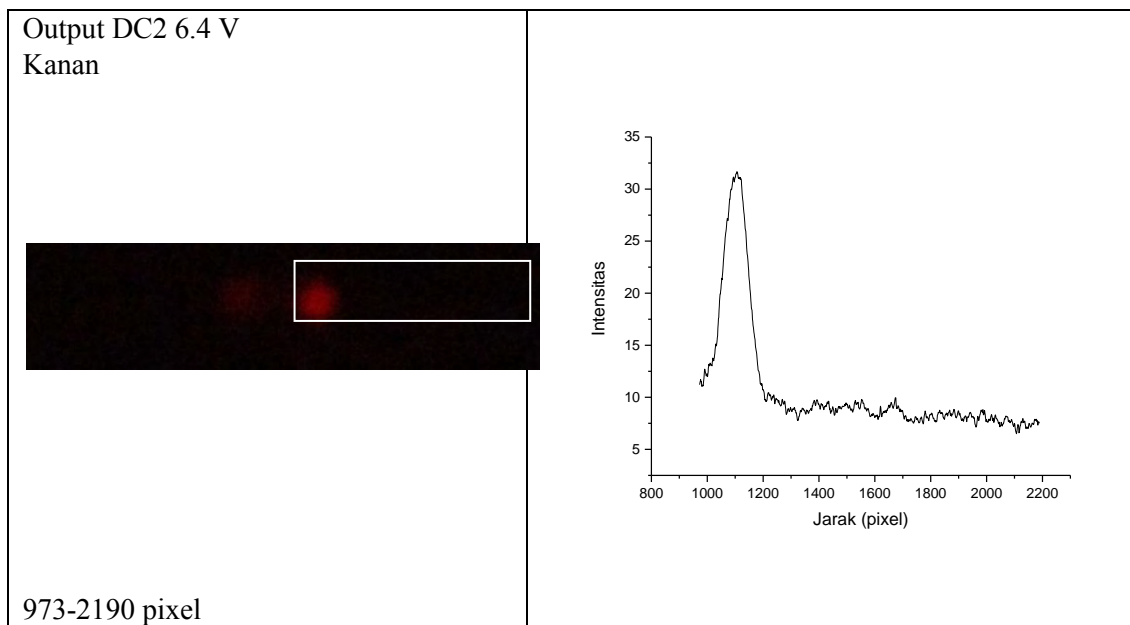
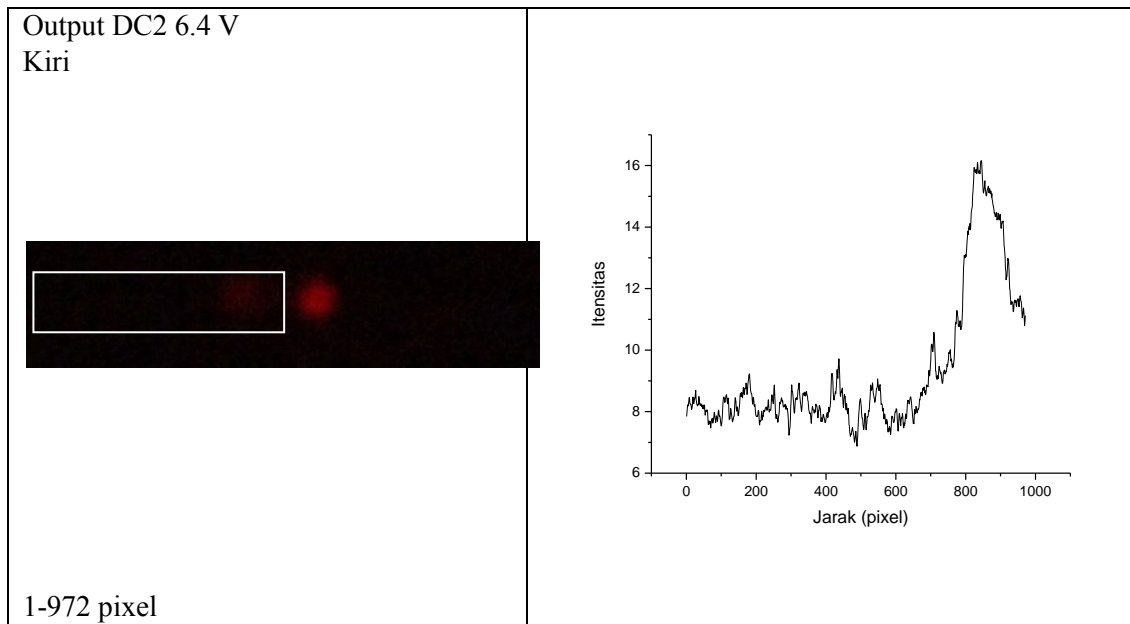
2. Output Balik Directional Coupler Dengan Variasi Tegangan

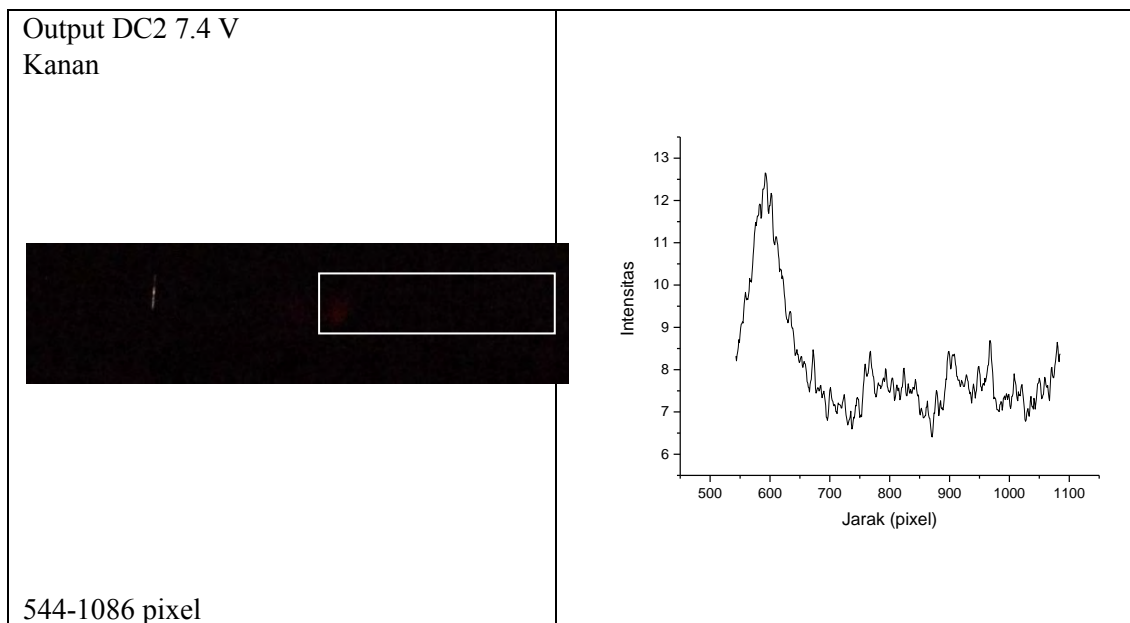
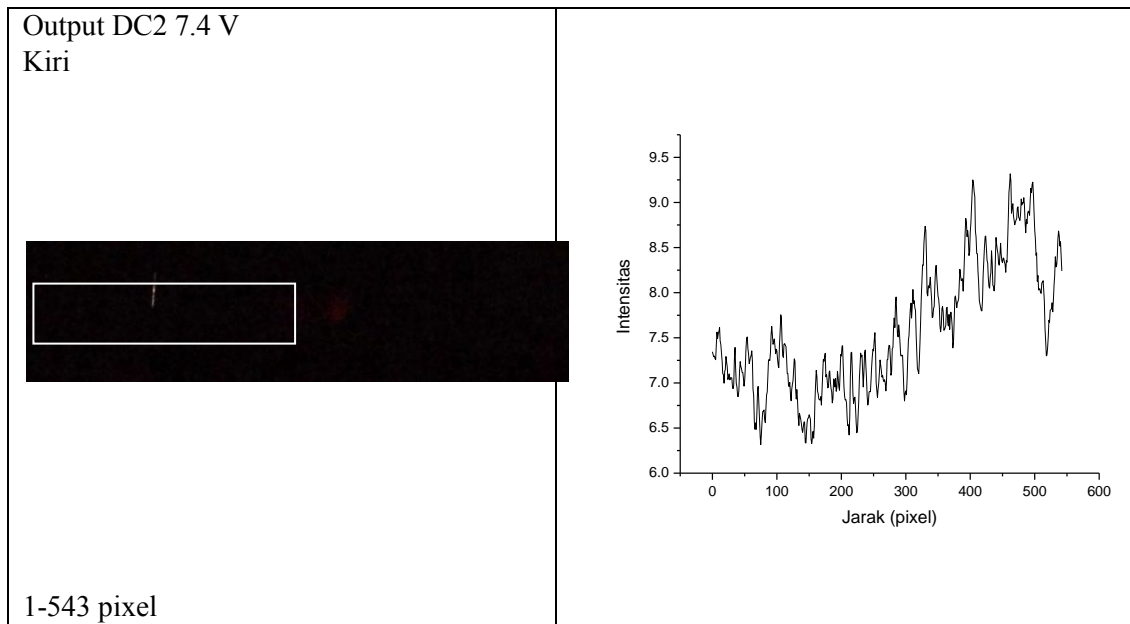


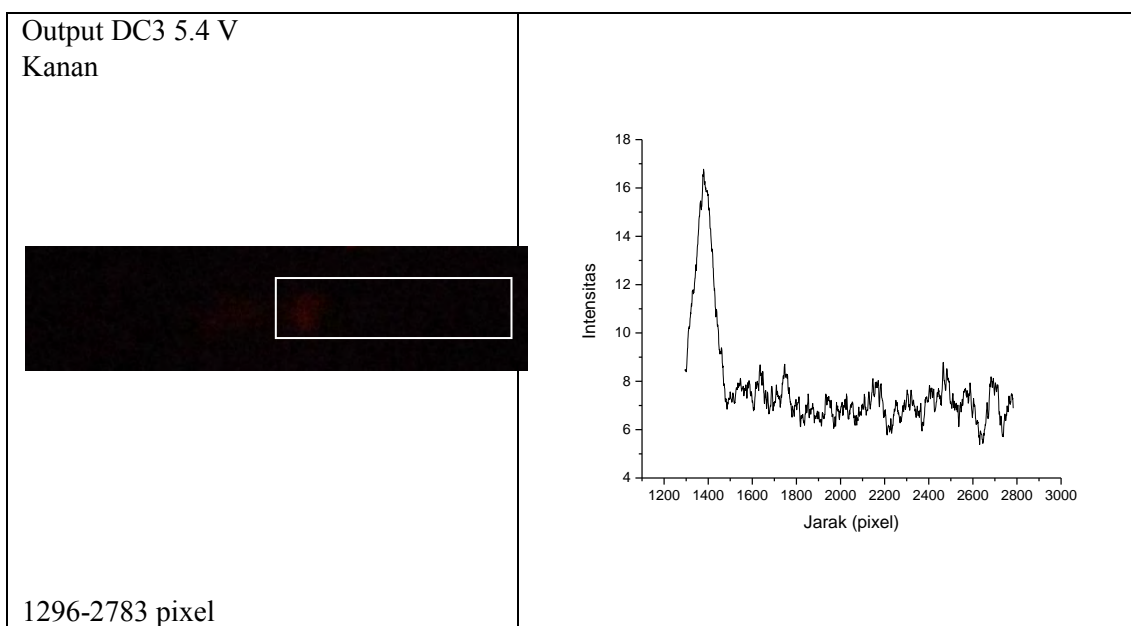
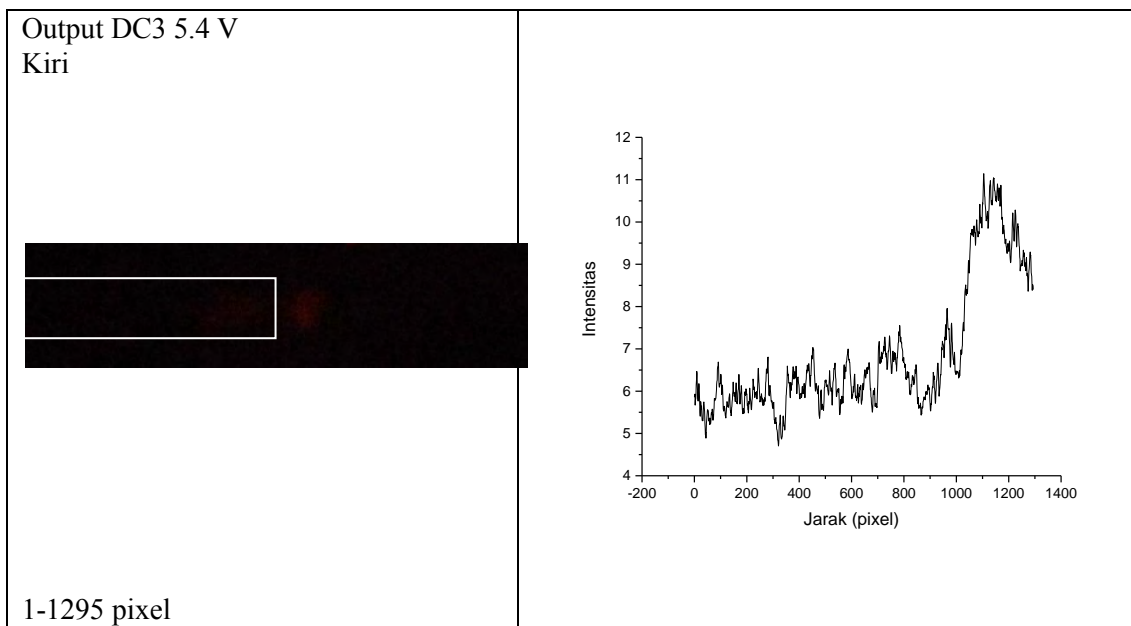


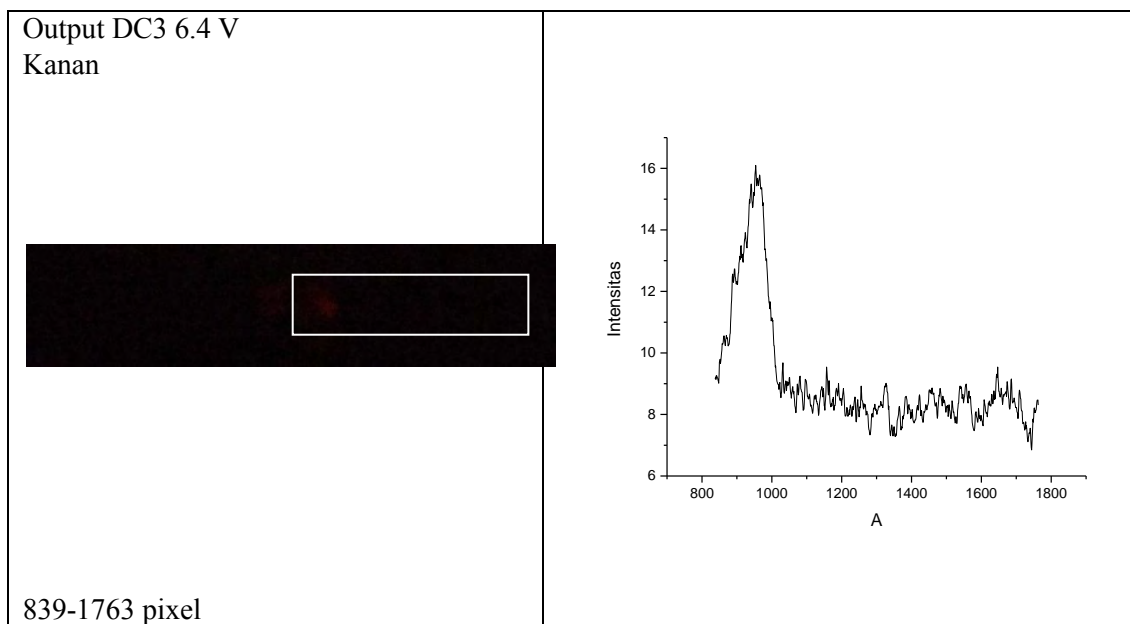
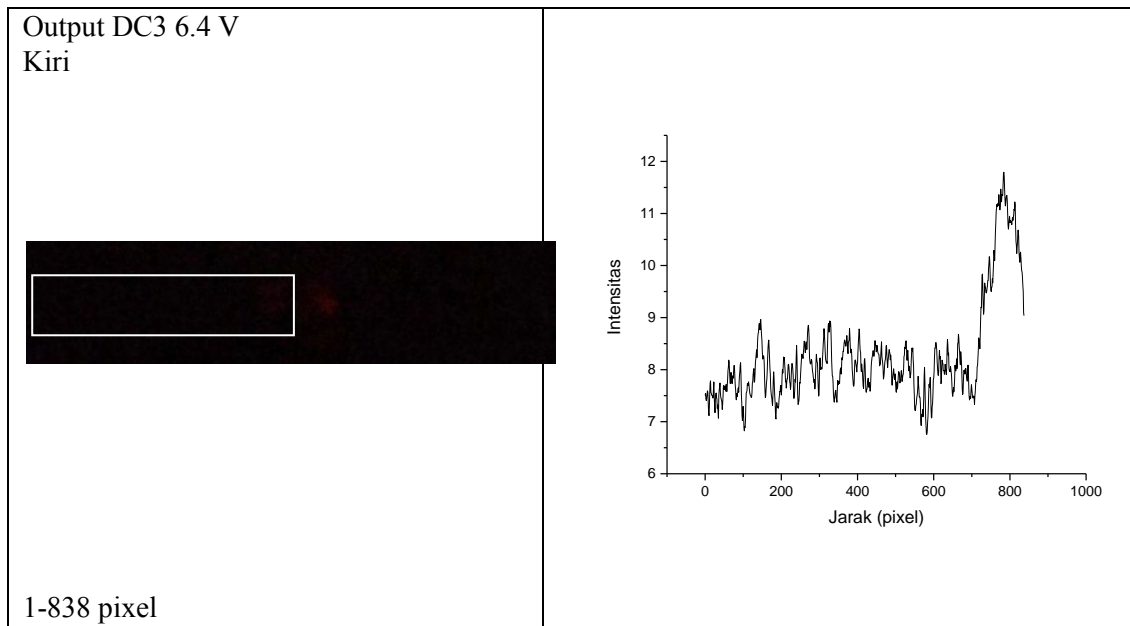


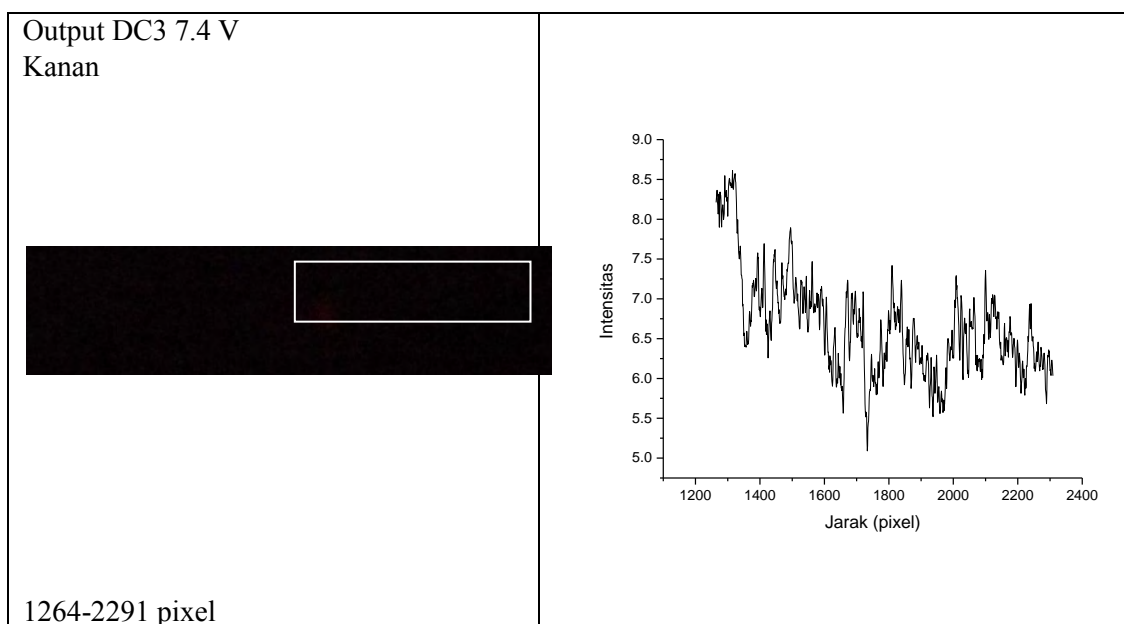
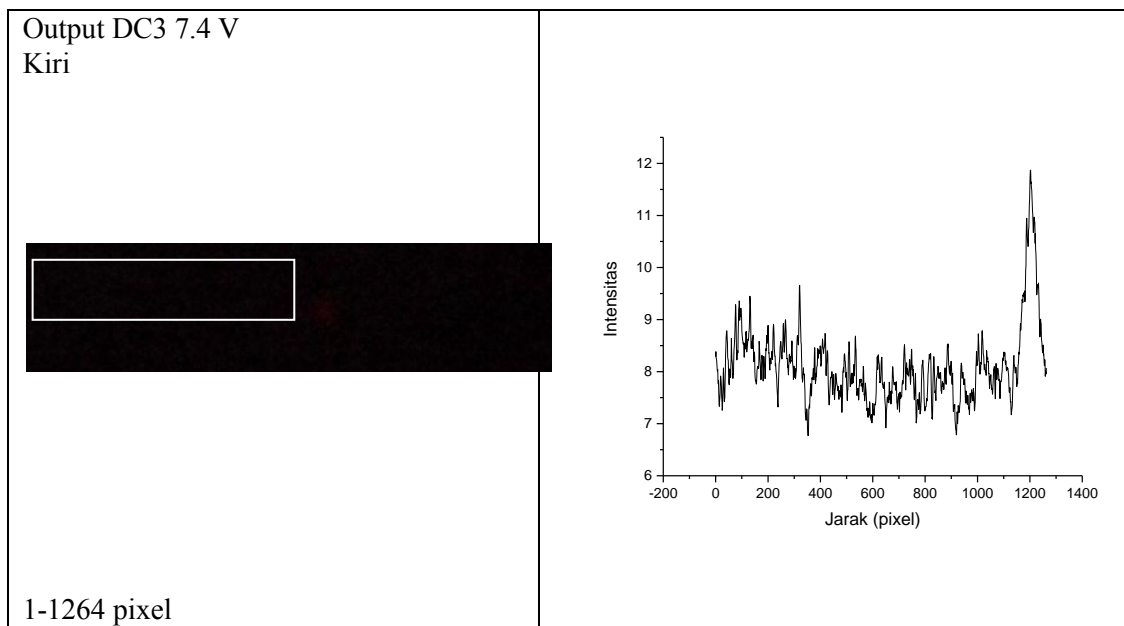












BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil fabrikasi dan karakterisasi pandu gelombang yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. *Directional coupler* telah berhasil difabrikasi dengan metode deposisi sol-gel dan dilapisi *methyl methacrylate* (MMA) dengan metode *doctor blade*.
2. Fabrikasi *directional coupler* ini dapat memandu cahaya laser He-Ne dengan panjang gelombang 632,8 nm.
3. Hasil keluaran tiap-tiap port pandu gelombang *directional coupler* DC1 masing-masing 26 %, 24 % dan 49 % untuk port A1, A2 dan B2.
4. Hasil keluaran port A2 pandu gelombang *directional coupler* DC1 masing-masing 26 %, 30 % dan 37 % untuk tegangan 5,4 V, 6,4 V dan 7,4 V.

5.2 Saran

Proses fabrikasi dan penelitian lanjutan disarankan untuk meratakan guide SnO₂ pada substrat akrilik. Hal ini dikarenakan jika lapisan SnO₂ pada akrilik tidak merata akan mengakibatkan proses pemanduan cahaya dalam pandu gelombang tersebut tidak maksimal. Kemudian, alangkah baiknya sebelum larutan SnO₂ dideposisikan pada *channel directional coupler*, *channel directional coupler* bagian bawah, kiri dan kanan dilapisi dengan *methyl methacrylate* (MMA). Pelapisan ini bertujuan agar cahaya yang dipandu pada *directional coupler* tidak terhambur disekitar substrat.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- An, Dechang. (2000), "Polymeric electro-optic modulator based on 1×2 Y-fed directional coupler", Microelectronics Research Center, University of Texas, Vol. 76, No. 15, hal. 1972-1974.
- Chakraborty, Rajib. (2014), "Design of tunable asymmetric directional coupler filter using periodically segmented Ti:LiNbO₃ waveguides", Department of Applied Optics and Photonics, University of Calcuta, Vol. 125, hal. 5816-5819.
- Chen, Ming. (2013), "An ultracompact optical directional coupler based on lithium niobate photonic wires", School of Electronic Engineering, Xi'an University of Post and Telecommunication, Vol. 124, hal. 1974-1976.
- Chen, Ming. (2015), "TE/TM polarization splitters in LiNbO₃ photonic wires", School of Electronic Engineering, Xi'an University of Post and Telecommunication, Vol. 126, hal. 184-186.
- Daniyati, R., 2015, Fabrikasi Pandu Gelombang TiO₂ Nano Y-Branch dengan Metode *Lithography* sebagai Power Divider, Tesis, Jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Farrel, Gerald, (2002), "Optical Communications Systems Optical Fibre Couplers and Switches", Dublin Institute of Technology.
- Ganguly, Pranabendu. (2008), "Analysis of Ti:LiNbO₃ zero gap directional coupler for wavelength division multiplexer/demultiplexer", Integrated Optics Laboratory, Vol. 281, hal. 3269-3274.
- Iizuka, Keigo, (2008), Engineering Optics 3rd edition, Springer.
- Kassim, N. M., Ibrahim, M. H., Mohammad, A. B., & Yaacob, M. 2008. Polymer Based Multimode Interference Optical Couplers. Jurnal Universitas Teknologi Malaysia, 5.
- Kogelnik. H, 1990, Theory of Optical Waveguides in Guided-Wave Optoelectronics, Theodor Tamir, Springer-Verlag.
- Marikkannan, M. (2015), "A novel synthesis of tin oxide thin films by the sol-gel process for optoelectronic applications", AIP Advance 5, 027122 (2015); doi: 10.1063/1.4909542
- Okamoto, K., (2006), Fundamental of Optical Waveguide 2nd Edition, Elsevier.

- Rahal, Achour. (2015), "Structural, optical and electrical properties studies of ultrasonically deposited tin oxide (SnO_2) thin film with different substrate temperatures", *Superlattices and Microstructures*, Vol. 86, hal. 403-411.
- Rinawati, 2009, *Fabrikasi dan Karakterisasi Directional Coupler Struktur Slab Berbasis Polimer Polystrene dan Polymethyl Methacrylate (MMA)*, Tesis, Jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Rohedi, A.Y., 1997, Perancangan Directional Coupler untuk Aplikasi WDM Struktur 4x4, Thesis, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Rubianto, Agus dan Ali Yunus R., (2003), *Buku Ajar-Optika Terpadu*, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember., Surabaya.
- Samian, Yono, H.D., Ali, Y., (2008), "Fabrikasi Directional Coupler Serat Optik Multimode", *JFA*, Vol. 4, No. 2, hal. 080203-1-080203-5.
- Saleh, B.H.A., Teich, M.C., (1991), *Fundamental of Photonics* 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc.
- Senior, John M., (2009), *Optical Fiber Communications Principles and Practice* 3rd edition, Prentice Hall.
- Suematzu, Y., Iga, K., (1982), *Introduction to Optical Fiber Communication*, John Wiley & Sons, Inc.
- Supadi, Yono, H.D., Gatut, Y., (2006), "Fabrikasi dan Karakterisasi Directional Coupler Sebagai Devais Pembagi Daya (Power Devider)", *JFA*, Vol. 2, No.1, hal 060106-1 - 060106-6.
- Szustakowski, M. (1990), "Transmission performance of a 1×2 Ti:LiNbO_3 strip waveguide directional coupler", *Institute of Plasma Physics and laser Microfusion*, Vol. 79, No. 6, hal. 411-415.
- Tanio, N., & Nakanishi, T. (2006). "Physical Aging and Refractive Index of Poly(methyl methacrylate) Glass". *Polym. J*, 38(8): 814-818.
- Tao Zheng, Chuan. (2008), "Analysis of response characteristics for polimer directional coupler electro-optic switches", *State Key Laboratory on Integrated Optoelectronic*, Vol. 281, hal. 5998-6005.
- Uysal, Bengu O. (2015), "Structural and optical properties of SnO_2 nano film by spin-coating method", *Applied Surface Science*, Vol. 350, hal. 74-78.

Wooten, Ed L. (2000), “A Review of Lithium Niobate Modulators for Fiber-Optic Communications System”, Member IEEE, Vol. 6, No. 1, hal. 69-82.

Wikipedia.org

www.ece.gatech.edu/research/labs/vc/theory/PosNegRes.html 7.10 15 june 2015

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kota Udang, Sidoarjo, pada tanggal 19 Juni 1989, yang merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan fomal yaitu di SDN Becirongengor 1, MI Bahrul Ulum, MTs Jabal Noer dan MA Jabal Noer. Saat menempuh pendidikan di MA Jabal Noer penulis tercatat sebagai sekretaris OSIS periode 2005/2006 . Penulis masuk di Jurusan Fisika-FST Unair pada tahun 2008 dengan melalui jalur SNMPTN, bidang minat yang ditekuni adalah bidang optoelektronika dan mendapatkan gelar sarjana sains pada tahun 2013. Selama masa kuliah penulis sempat aktif dalam mengikuti organisasi di Jurusan yaitu Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) Unair. Penulis juga tercatat sebagai anggota Departemen Kesekretariatan Himafi Unair periode 2008/2009 dan penulis pernah menjadi asisten laboratorium Fisika Eksperimen I. Tahun 2013 penulis mendapatkan beasiswa PraS2-S2 di jurusan Fisika-FMIPA ITS. Selama masa perkuliahan di pascasarjana penulis menekuni bidang optoelektronika terutama dibidang pandu gelombang yang fokus pada directional coupler.